I 4470.

SOCIETATEA DE ȘTIINȚE FIZICE ȘI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista
DE
FIZICĂ ȘI CHIMIE

SERIA A
VOLUMUL VIII

1

IANUARIE 1971

13524

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE

STR. NUFERILOR 23, SECTORUL 7 BUCUREȘTI—46. TELEFON 16,42.86

SUMAR

Pag

1. Programa de chimie pentru anii I—IV ai liceului de cultură generală (Proiect pentru discuții) 1

Virgil Olariu, Nicolae Morariu, Brașov

2. Aparat pentru determinarea efectului forței Coriolis 11

Eugen Novicicov, București

3. Elemente de tehnologie a programării (VII) 14

Lucius Săveanu, Constanța

4. Metodă ciclică pentru stabilirea expresiei variației energiei interne la un gaz perfect. 19

Maria Păunel, Ion Badea, București

5. Aminoacizii. Rolul și importanța lor biochimică 21

I. G. Constantinescu, Irina Constantinescu, V. T. Mărculețiu, Gr. M. Teodorescu

6. Utilizarea acidului clorhidric rezidual pentru valorificarea titanului din nisipurile ilmenitice. 32

N. Ionașcu, Brașov

7. Modificarea unor proprietăți microscopice a lichidelor prin acțiunea cîmpului ultrasonor 40

COMITETUL DE REDACȚIE

Ion Agîrbiceanu, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România); **Constantin D. Albu**, lector univ.; **Teodor Bohățiel**, asist. univ., **Simion Bulgărea** prof.; **Maria Codreanu**, prof.; **Andra Körner**, redactor; **Nicole Martalogu** conf. univ. **Eleonora Mihul**, cercetător; **Ion C. Moisil**, conf. univ; **Alice Negoescu**, prof. **Ion C. Petrea**, conf. univ.; **Victor Sahini**, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialist România); **Elena Teodoru**, prof. redactor șef

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

SERIA A

Volumul VIII, nr. 1 ianuarie 1971

PROGRAMA DE CHIMIE*)

Pentru anii I—IV ai liceului de cultură generală

Proiect pentru discuţii

Notă introductivă. Programa anilor I—IV, liceu, cuprinde un sistem unitar de cunoştinţe din chimia generală, chimia neorganică şi chimia organică.

În dezvoltarea dată temelor, programa se referă la problemele esenţiale necesare culturii generale a elevilor, înţelegerii şi cunoaşterii teoriilor moderne ale chimiei, reacţiilor de preparare şi proprietăţilor principalelor substanţe chimice, întrebuinţării lor în industria chimică, în tehnică, agricultură şi în diferite alte domenii.

În procesul predării trebuie să se acorde atenţia necesară formării concepţiei ştiinţifice materialist-dialectice despre lume; în lecţii trebuie să se sublinieze rolul ştiinţei şi al verificării în practică a rezultatelor ei pentru cunoaşterea din ce în ce mai profundă a naturii, interdependenţa dintre diferitele fenomene fizice şi chimice, trecerea de la schimbări cantitative la calităţi noi (la sistemul periodic, stările alotropice, legile chimiei, circuitele oxigenului, azotului şi carbonului în natură, apariţia substanţelor noi prin schimbarea numărului de atomi, legătura dintre structura chimică şi proprietăţi etc.).

Dezvoltarea într-un ritm susţinut a industriei noastre chimice, pe baza cerinţelor progresului tehnic contemporan, a constituit şi constituie unul din principalele obiective ale politicii economice a partidului. De aceea la tratarea unor capitole principale, programa cere să se arate continua şi impetuoasa creştere în anii puterii populare a industriei chimice pe baza bogăţiilor naturale ale ţării noastre şi contribuţia preţioasă a produselor acestei industrii în dezvoltarea economică generală a României Socialiste.

Totodată, acolo unde este cazul, trebuie să se scoată în evidenţă contribuţia savanţilor şi tehnicienilor români la dezvoltarea chimiei sau introducerea unor procedee noi de fabricare în industria chimică, de exemplu folosirea bioxidului de sulf în industria petrolieră, obţinerea hidrogenului din gaz metan etc.

Predarea chimiei trebuie să se bazeze atît pe cunoştinţele de chimie, cît şi pe cele de matematică şi fizică studiate anterior de elevi. De asemenea, cu ajutorul experienţelor şi lucrărilor de laborator cuprinse în programă se pot da elevilor imagini clare şi convingătoare asupra fenomenelor chimice studiate şi se pot forma deprinderile practice necesare de lucru cu substanţele şi aparatura chimică. La efectuarea experienţelor demonstrative şi lucrărilor de laborator se va atrage atenţia elevilor asupra precauţiilor ce trebuie avute în vedere la mînuirea unor compuşi chimici, a utilajului de laborator, a surselor de electricitate şi căldură etc.

Succesiunea cunoştinţelor în lecţie trebuie să obişnuiască pe elevi cu ordinea în studiu, iar prezentarea lor trebuie să fie accesibilă, ţinîndu-se seama de posibilităţile elevilor şi de cunoştinţele ce le au. Trebuie să se renunţe la predarea unor amănunte neesenţiale de ordin chimic sau tehnologic, care ar putea interesa numai pe specialişti, precum şi la constantele fizice care nu aduc o contribuţie importantă la cunoaşterea substanţei sau fenomenului chimic.

Un element însemnat care constituie un ajutor preţios la fixarea cunoştinţelor este recapitularea care trebuie făcută atît la lecţiile de predare a noilor cunoştinţe, cît şi în lecţii speciale, la încheierea unui capitol, înainte de teze şi în perioada de încheiere a anului şcolar.

Pentru o mai bună însuşire a cunoştinţelor de chimie şi pentru aplicarea lor în practică, este necesar ca elevii să fie deprinşi cu rezolvarea sistematică a problemelor de chimie, cerinţă importantă a programei.

În general, în studiul diferitelor substanţe, prevăzute de programă, trebuie să se repete şi să se sublinieze proprietăţile comune care determină încadrarea lor într-o anumită clasă de

*) Vom publica, pe rînd, proiectele de programă pentru anii I—IV ai liceelor de cultură generală la chimie şi fizică. Cititorii sînt invitaţi să trimită părerile lor în scris pe adresa redacţiei sau direct la Ministerul Învăţămîntului în termen de o lună de la apariţia Revistei.

13524

compuşi (oxizi, baze, acizi, săruri, hidrocarburi, alcooli etc.), fără a se neglija acele proprietăţi caracteristice ce le diferenţiază de substanţele din aceeaşi categorie şi care determină întrebuinţările lor în economia naţională.

Numărul de ore prevăzut pentru fiecare temă este orientativ, profesorii putînd schimba repartiţia de ore în funcţie de condiţiile concrete din clasa şi şcoala unde îşi desfăşoară activitatea, cu condiţia ca succesiunea temelor şi conţinutul programei să fie respectate. Din acest număr de ore trebuie să se rezerve numărul de ore necesar pentru efectuarea lucrărilor de laborator, pentru recapitularea curentă şi pentru verificarea cunoştinţelor care trebuie făcută sistematic, pentru a nu se produce rămîneri în urmă sau lipsuri în însuşirea temeinică a cunoştinţelor.

În vederea dezvoltării interesului elevilor pentru chimie şi a lărgirii orizontului lor de cunoştinţe se vor organiza cercuri de chimie, excursii la uzinele chimice, vizite la expoziţii şi muzee, se vor îndruma elevii pentru consultarea unor reviste ştiinţifice şi a literaturii de popularizare, participarea la concursurile de chimie etc.

ANUL I

Secţiile reală şi umanistă
2 ore săptămînal = 64 ore anual

Repartizarea orelor :

Predare, lucrări de laborator şi probleme	52 ore
Recapitulare	3 ore
Lucrări scrise şi pregătirea lor	6 ore
La dispoziţia profesorului	3 ore
Total	64 ore

I. Introducere în studiul chimiei — *2 ore*

a) Chimia şi importanţa ei. Obiectul chimiei. Ramurile chimiei.

b) Substanţe. Caracterizarea substanţelor. Proprietăţi fizice şi proprietăţi chimice. Amestecuri de substanţe. Izolarea substanţelor din amestecuri.

II. Structura atomului — *7 ore*

a) Atomii — componente ale substanţelor.

b) Structura atomului. Nucleu şi înveliş electronic.

c) Alcătuirea nucleului. Protoni şi neutroni.

d) Număr atomic. Elemente. Simbol chimic. Izotopi. Substanţe elementare şi combinaţii chimice. Formule chimice.

e) Masă atomică.

f) Structura electronică a elementelor. Orbitali. Straturi şi substraturi, ocuparea lor cu electroni.

III. Sistemul periodic al elementelor — *5 ore*

a) Periodicitatea proprietăţilor elementelor.

b) Sistemul periodic. Structura sistemului periodic. Grupe şi perioade.

c) Legătura dintre structura atomului şi sistemul periodic.

d) Elemente electropozitive şi elemente electronegative. Metale şi nemetale. Gaze rare. Variaţia caracterului electropozitiv şi electronegativ în grupe şi în perioade.

IV. Legături chimice — *6 ore*

a) Legăturile chimice — legături între atomii substanţelor.

b) Legătura electrovalentă (ionică). Ioni. Substanţe ionice.

c) Legătura covalentă. Legături simple, duble şi triple. Molecule. Masă moleculară. Radicali. Legături polare şi legături nepolare. Molecule polare. Legătura coordinativă — caz particular al legăturii covalente. Substanţe covalente.

d) Legătura metalică. Electroni mobili în metale.

e) Valenţa elementelor. Stabilirea formulelor chimice ţinînd seama de valenţă şi de natura legăturilor dintre atomi.

f) Variaţia caracterului legăturilor chimice în perioade şi grupe.

V. Stări de agregare — *6 ore*

a) Starea solidă. Cristale. Legături chimice şi legături fizice în cristale. Forţe de atracţie moleculară. Cristale ionice, cristale covalente, cristale moleculare, cristale metalice.

b) Starea lichidă. Difuziunea lichidelor. Vaporizarea. Fierberea. Solidificarea.

c) Starea gazoasă. Difuziunea la gaze.

d) Dilatarea gazelor la încălzire şi comprimarea lor la mărirea presiunii. Relaţii între presiune, volum şi temperatură la gaze. Ecuaţia de stare a gazului perfect.

Legea lui Avogadro. Mol. Volum molar. Densitatea gazelor.

VI. **Soluţii** — *7 ore*

a) Definirea soluţiilor. Dizolvant şi dizolvat. Soluţii lichide, solide şi gazoase.

b) Apa ca dizolvant. Structura moleculei de apă. Hidratare. Solvatare. Legături ion-dipol şi dipol-dipol.

c) Descrierea procesului de dizolvare a unui solid într-un lichid.

d) Solubilitatea substanţelor. Variaţia solubilităţii cu temperatura. Soluţii saturate şi nesaturate, diluate şi concentrate.

e) Exprimarea concentraţiei soluţiilor. Concentraţie procentuală, concentraţia molară, concentraţie normală; echivalent chimic. Calcule cu soluţii.

Lucrări de laborator şi demonstraţii

— Prepararea unor soluţii de diferite concentraţii.

— Prepararea unor soluţii de concentraţie procentuală, molară şi normală de clorură de sodiu, sulfat de cupru, azotat de argint.

VII. **Transformări chimice** — *9 ore*

a) Transformările chimice (reacţiile chimice) — procese în care se desfac şi se formează legături chimice. Ecuaţii chimice.

b) Reacţii de oxidare-reducere (redox). Starea de oxidaţie şi stabilirea coeficienţilor ecuaţiilor chimice.

c) Schimburi de energie ce însoţesc transformările chimice. Reacţii exoterme şi reacţii endoterme. Căldură de reacţie.

d) Reacţii reversibile şi ireversibile. Echilibrul chimic.

e) Legile transformărilor chimice, consecinţe ale structurii atomice a substanţelor. Legea conservării masei. Legea proporţiilor definite. Legea proporţiilor multiple. Legea volumelor la combinarea gazelor.

f) Calcule chimice.

VIII. **Acizi, baze, săruri. Ioni în soluţie** — *7 ore*

a) Definirea acizilor şi bazelor pe baza transferului de protoni.

b) Nomenclatura acizilor. Acizi mono şi polibazici.

c) Ionizarea acizilor în soluţie. Ionul hidroniu. Acizi tari şi acizi slabi. Indicatori pentru acizi.

d) Nomenclatura bazelor. Baze mono şi poliacide.

e) Baze în soluţie. Ionul hidroxil. Electroni neparticipanţi. Baze tari şi baze slabe. Indicatori pentru baze.

f) Reacţii acid-bază. Acizi conjugaţi şi baze conjugate. Reacţia de neutralizare. Substanţe amfotere.

g) Ionizarea apei.

h) Săruri. Nomenclatura sărurilor. Săruri acide şi săruri bazice. Hidroliza sărurilor.

IX. **Electroliza** — *3 ore*

a) Electroliţi şi neelectroliţi.

b) Migrarea ionilor aflaţi în cîmp electric. Anod şi catod. Anioni şi cationi.

c) Electroliza. Procese chimice la anod şi la catod (procese redox). Electroliza topiturilor şi a soluţiilor de electroliţi.

d) Legile cantitative ale electrolizei. Calcule aplicative.

Lucrări de laborator şi demonstraţii:

— Reacţia de neutralizare între acidul clorhidric şi hidroxidul de sodiu.

— Caracterul amfoter al hidroxidului de aluminiu.

— Hidroliza unor săruri: carbonatul de sodiu, clorura de amoniu.

— Electroliza iodurii de potasiu, a clorurii de cupru.

ANUL II

Secţiile reală şi umanistă
(2 ore săptămînal — 64 ore anual)

Repartizarea orelor

Predare, lucrări de laborator şi probleme	52 ore
Recapitulare	3 ore
Lucrări scrise şi pregătirea lor	6 ore
La dispoziţia profesorului	3 ore
Total	64 ore

A. RECAPITULAREA unor probleme studiate în anul I *-6 ore*

1. Structura atomului. Electroni, protoni, neutroni. Număr atomic. Elemente chimice. Izotopi. Masă atomică. Învelişul de electroni al atomilor. Straturi, substraturi, orbitali. Dublet şi octet de electroni.
2. Sistemul periodic al elementelor.
3. Legături chimice; legătura ionică şi legătura covalentă.
4. Molecule.
5. Substanţe ionice şi substanţe covalente.
6. Masă moleculară.
7. Legile gazelor. Legea lui Avogadro. Mol. Volum molar.
8. Calcule chimice.

B. CHIMIE ANORGANICA — NEMETALE

I. Gazele rare — *1 oră*

a). Structura elementelor. b) Obţinere. Proprietăţi. Inerţie chimică. Utilizări.

II. Hidrogenul — *3 ore*

a) Structura electronică şi valenţa. Stare naturală. b) Obţinere. c) Proprietăţi fizice. Caracterul chimic general al hidrogenului. d) Proprietăţi chimice. Caracterul reducător. Hidruri ionice şi hidruri covalente. Protonul. Observaţii biochimice. e) Utilizările hidrogenului.

Lucrări de laborator şi demonstraţii

— Prepararea hidrogenului din apă şi sodiu, acid clorhidric şi zinc
— Difuziunea hidrogenului
— Aprinderea hidrogenului
— Reducerea oxidului de cupru cu ajutorul hidrogenului

III. Halogenii — *7 ore*

a) Structura electronică şi valenţa elementelor halogene.
b) Obţinerea. Proprietăţi fizice şi proprietăţi chimice. Caracterul oxidant.
c) Reacţii înlănţuite. Echilibre chimice, deplasarea echilibrului chimic.
d) Combinaţiile halogenilor cu hidrogenul. Hidracizii. Obţinere. Proprietăţi fizice şi chimice. Ionii de halogenuri.
g). Acizii oxigenaţi ai clorului. Acidul hipocloros şi hipocloriţii. Clorura de var. Acidul cloric şi cloraţii alcalini. Reacţii de disproporţionare. Acidul percloric şi percloratul de potasiu.
f) Utilizările halogenilor şi combinaţiilor lor.

Lucrări de laborator şi demonstraţii:

— Prepararea clorului din acid clorhidric.
— Dislocuirea bromului şi iodului din sărurile lor de către clor.
— Combinarea clorului cu alte elemente
— Decolorarea cu ajutorul apei de clor
— Prepararea acidului clorhidric şi cercetarea proprietăţilor lui
— Precipitarea halogenurilor de argint
— Arderea carbonului şi sulfului în cloratul de potasiu topit

IV. Oxigenul şi sulful — *14 ore*

1. Oxigenul a) Starea naturală. Structura electronică şi valenţa. Alotropie. b) Obţinere. Cataliză şi catalizatori. Proprietăţi fizice şi proprietăţi chimice. Caracterul oxidant. Consideraţii biochimice. Utilizări.

c) Ozonul. Reacţii de formare; obţinere în laborator; proprietăţi fizice şi proprietăţi chimice.

d) Oxizi ionici şi oxizi covalenţi.

e) Apa. Stare naturală. Apă dură. Apă potabilă. Ape reziduale. Ape minerale. Purificarea apei. f) Proprietăţi fizice. Anomalia densităţii apei. Asociaţia moleculelor apei; legătura de hidrogen. Hidraţii sărurilor; apa de cristalizare. Substanţe higroscopice şi substanţe delicvescente. Proprietăţi chimice ale apei.

g) Apa oxigenată. Obţinere. Proprietăţi fizice şi chimice ale apei oxigenate.

Lucrări de laborator şi demonstraţii:

— Prepararea oxigenului: din oxid de mercur, din clorat de potasiu, din apă oxigenată.
— Arderi în oxigen.
— Prepararea ozonului şi cercetarea proprietăţilor lui.
— Proprietăţile apei oxigenate.

2. Sulful. Structura elementului. Stare naturală. Obţinere industrială. Proprietăţi fizice. Proprietăţi chimice. Întrebuinţări.

3. Hidrogenul sulfurat. Obţinere. Proprietăţi fizice şi chimice. Sulfuri.

4. Bioxidul de sulf şi acidul sulfuros. Obţinere şi proprietăţi. Sulfiţi.

5. Trioxidul de sulf şi acidul sulfuric. Obţinerea trioxidului de sulf. Obţinerea industrială a acidului sulfuric, procedeul prin contact. Proprietăţile acidului sulfuric. Acidul sulfuric fumans (oleum). Întrebuinţările acidului sulfuric. Sulfaţi.

Importanţa şi dezvoltarea industriei de acid sulfuric în ţara noastră.

6. Acidul tiosulfuric şi tiosulfatul de sodiu.

7. Caracterul chimic general al elementelor din gr. VI.

Lucrări de laborator şi demonstraţii

— Dizolvarea sulfului în sulfură de carbon şi cristalizarea sulfului.
— Topirea sulfului. Obţinerea sulfului plastic.
— Arderea hidrogenului sulfurat.
— Carbonizarea unor substanţe (hîrtie, pînză, zahăr etc)..
— Reacţia de recunoaştere a ionului sulfat.

V. Azotul, fosforul şi arsenul — *10 ore*

1. Aerul. Compoziţia aerului. Aerul lichid.

2. Azotul. a) Structura elementului. Stare naturală. b) Obţinere. Proprietăţi fizice. Stabilitatea moleculei. Proprietăţi chimice.

3. Amoniacul. a) Structura moleculei. Obţinere. Principiul lui Le Chatelier. b) Proprietăţi fizice şi chimice. c) Ionul de amoniu. Săruri de amoniu. d) Hidrazina şi hidroxilamina.

4. Oxizii azotului. Oxidul de azot. Hipoazotida. Trioxidul de azot.

5. Acidul azotic. a) Obţinere prin procedeul de oxidare a amoniacului. b) Proprietăţi fizice şi chimice, proprietăţi oxidante. Apa regală. c) Utilizările acidului azotic. Azotaţi.

6. Acidul azotos. Azotitul de sodiu.

7. Biochimia azotului.

8. Fosforul. a) Structura elementului. Forme alotropice. b) Stare naturală. c) Obţinere, d) Proprietăţi fizice. Proprietăţi chimice. e) Hidrogenul fosforat (fosfina).

9. Oxizi şi oxiacizi ai fosforului. a) Trioxidul de fosfor. Pentaoxidul de fosfor. b) Acidul ortofosforic. Fosfaţi. Structura compuşilor oxigenaţi ai fosforului.

10. Biochimia fosforului.

11. Îngrăşăminte cu azot şi cu fosfor.

12. Importanţa îngrăşămintelor chimice pentru agricultură. Dezvoltarea industriei de îngrăşăminte în ţara noastră.

13. Arsenul. Proprietăţi şi compuşi (sumar pe baza manualului).

14. Caracterul chimic general al elementelor din grupa a V-a.

Lucrări de laborator şi demonstraţii

— Prepararea amoniacului din sărurile de amoniu: sulfat de amoniu şi hidroxid de sodiu, clorură de amoniu şi oxid de calciu.
— Caracterul bazic al amoniacului: solubilizarea amoniacului în apă şi încercarea caracterului bazic cu turnesol şi fenolftaleină.
— Formarea clorurii de amoniu din amoniac şi acid clorhidric.
— Arderea unui beţişor aprins la un capăt, a unei bucăţi de cărbune incandescent în acid azotic fumans. Arderea terebentinei în acid azotic fumans.
— Arderea sulfului sau a cărbunelui aprins în azotat de potasiu topit.
— Luminiscenţa fosforului.
— Dizolvarea fosforului alb în sulfură de carbon.

VI. **Carbonul şi siliciul** — *10 ore*

1.Carbonul. a) Starea naturală. Structura elementului. Diamantul şi grafitul. b) Cărbunii de pămînt. Zăcămintele de cărbuni din ţara noastră şi importanţa lor industrială. c) Cărbunii de lemn. Cocsul. Negrul de fum. d) Electrozi de cărbune.

2. Oxidul de carbon a) Obţinere. Gazul de generator. Gazul de apă. Gaze de sinteză. b) Proprietăţi fizice. Inerţia chimică şi structura moleculei. Proprietăţi chimice. Toxicitate. Utilizări.

3. Bioxidul de carbon. a) Obţinere. b) Proprietăţi fizice şi chimice.

4. Acidul carbonic

5. Sărurile acidului carbonic

Carbonatul de sodiu ; fabricarea după procedeul Solvay. Carbonatul acid de sodiu (bicarbonatul de sodiu). Carbonatul şi bicarbonatul de calciu. Industrii legate de fabricarea şi prelucrarea acestor compuşi în ţara noastră.

6. Sulfura de carbon. Tetraclorura de carbon.

7. Acidul cianhidric şi cianura de sodiu.

8. Carbura de calciu (carbidul).

9. Biochimia carbonului.

10. Siliciul. a) Structura elementului b) Starea naturală c) Obţinere d) Proprietăţi fizice şi chimice. Proprietăţi semiconductoare e) Halogenuri de siliciu f) Silanii.

11. Bioxidul de siliciu şi silicaţii. a) Cuarţul, structura cristalină. b) Acidul silicic. Silicaţi naturali. Sticla. Cimentul. Importanţa industriei de sticlă şi ciment în ţara noastră. c) Caracterul chimic general al elementelor din grupa a IV-a.

Lucrări de laborator şi demonstraţii

— Prepararea bioxidului de carbon din acid clorhidric şi carbonat de calciu.

— Dizolvarea bioxidului de carbon în apă şi obţinerea unei soluţii acide.

— Introducerea unui curent de bioxid de carbon în carbonatul de calciu. Obţinerea bicarbonatului.

— Hidroliza carbonatului de sodiu.

VII. **Borul** (sumar) — *1 oră*

a) Structura elementului şi valenţa. b) Stare naturală. c) Obţinere şi proprietăţi ale borului elementar. d) Caracterul chimic al borului. e) Acidul boric. Boraxul.

ANUL III

Secţiile reală şi umanistă

(2 ore săptămînal = 64 ore anual)

Repartizarea orelor :

Predare, lucrări de laborator şi probleme	52 ore
Recapitulare	3 ore
Lucrări scrise şi pregătirea lor	6 ore
La dispoziţia profesorului	3 ore
Total	64 ore

CHIMIE ANORGANICĂ — METALE

I. **Caracterizarea generală a metalelor** — *6 ore.*

1. Locul metalelor în sistemul periodic. 2. Proprietăţi fizice ale metalelor. 3. Legătura metalică. 4. Structura policristalină a metalelor. 5. Aliaje. 6. Proprietăţi chimice ale metalelor. Pile electrice. 7. Coroziunea metalelor. 8. Metode generale pentru obţinerea metalelor.

Lucrări de laborator şi demonstraţii :

— Combinarea iodului cu zincul

— Dizolvarea aluminiului în acid clorhidric şi în soluţie de hidroxid de sodiu

— Reacţia zincului cu sulfat de cupru

— Obţinerea oglinzii de argint

II. **Metale din grupa I (metale alcaline)** — *4 ore*

1. Prezentare generală. 2. Stare naturală. 3. Obţinere. 4. Proprietăţi fizice. Proprietăţi chimice. 5. Identificare 6. Întrebuinţările metalelor alcaline. 7. Proprietăţi fiziologice. 8. Com-

puşi mai importanţi :

a) Hidroxizi alcalini. Obţinere. Proprietăţi. Întrebuinţări.

b) Carbonaţi. Carbonatul de sodiu. Proprietăţi. Întrebuinţări (recapitulare din anul II)

Lucrări de laborator şi demonstraţii :

— Reacţia sodiului cu apa. Caracterul bazic al soluţiei.
— Identificarea în flacără a cationilor metalelor alcaline.
— Dislocuirea amoniacului din săruri de către hidroxizi alcalini.

III. Metale din grupa a II-a. Metale alcalino-pămîntoase — *3 ore*

1. Prezentare generală. 2. Stare naturală. 3. Metode de obţinere. 4. Proprietăţi fizice şi chimice. 5. Întrebuinţări. 6. Compuşi mai importanţi :

a) Oxizi şi hidroxizi ai metalelor din grupa a II-a

b) Sulfatul de calciu

c) Carbonatul şi bicarbonatul de calciu. Apa dură

7. Identificarea metalelor din grupa a II-a. 8. Proprietăţi fiziologice

Lucrări de laborator şi demonstraţii :

— Stingerea varului. Prepararea hidroxidului de calciu. Caracterul bazic al hidroxidului de calciu.
— Obţinerea hidroxidului de magneziu.
— Precipitarea carbonatului de calciu şi a sulfatului de bariu
— Identificarea în flacără a cationilor metalelor alcalino-pămîntoase.

IV. Aluminiul — *3 ore*

1. Prezentarea generală a elementelor din grupa a III-a. 2. Aluminiul. Stare naturală. 3. Obţinerea aluminiului în industrie. 4. Proprietăţi fizice şi chimice. 5. Compuşi ai aluminiului

6. Întrebuinţările aluminiului.

Lucrări de laborator şi demonstraţii :

— Arderea aluminiului în aer
— Reacţia dintre aluminiu amalgamat şi apă
— Reducerea cu aluminiu a oxidului feric
— Precipitarea hidroxidului de aluminiu şi dizolvarea precipitatului în hidroxid de sodiu.

V. Metale din grupa a IV-a — *2 ore*

1. Prezentarea generală a metalelor din grupa a IV-a. 2. Germaniul. Întrebuinţări în tehnică. 3. Staniul. Proprietăţi. Aliaje. Însemnătate practică. 4. Plumbul. Proprietăţi fizice şi chimice. Compuşi. Aliaje. Întrebuinţări în practică.

VI. Metale tranziţionale — *2 ore*

1. Locul metalelor tranziţionale în sistemul periodic. 2. Învelişurile de electroni ale metalelor tranziţionale. 3. Caracterul chimic general. 4. Combinaţii complexe.

VII. Fierul — *4 ore*

1. Prezentare generală. 2. Stare naturală. 3. Varietăţi tehnice de fier. 4. Metalurgia fierului (siderurgia). a) Fabricarea fontei. b) Fabricarea oţelului. 5. Proprietăţi fizice ale fierului şi ale aliajelor sale. 6. Proprietăţile chimice ale fierului. 7. Compuşi ai fierului. 8. Întrebuinţările aliajelor şi compuşilor fierului.

VIII. Alte metale tranziţionale — *3 ore*

1. Cuprul a) Stare naturală. b) Metode de obţinere în industrie. c) Proprietăţi fizice şi chimice ale cuprului. d) Combinaţii ale cuprului. e) Întrebuinţări în practică ale aliajelor şi ale compuşilor cuprului.

2. Argintul. a) Stare naturală. b) Proprietăţi fizice şi chimice ale argintului. c) Compuşii argintului. Halogenurile şi azotatul de argint. d) Întrebuinţări.

3. Aurul. a) Stare naturală. b) Proprietăţi fizice şi chimice ale aurului. c) Întrebuinţări.

4. Zincul. a) Stare naturală. b) Obţinere. c) Proprietăţi fizice şi chimice. d) Întrebuinţări. e) Compuşi ai zincului.

5. Mercurul. a) Stare naturală. b) Proprietăţi fizice şi chimice ale mercurului. c) Compuşi ai mercurului. d) Întrebuinţări în practică.

Lucrări de laborator şi demonstraţii :

— Reacţia cuprului cu acidul sulfuric
— Precipitarea hidroxidului de cupru din sulfat de cupru şi hidroxid de sodiu
— Identificarea cuprului în flacără
— Dislocuirea argintului din sărurile sale. Descompunerea acestora la lumină

CHIMIE ORGANICĂ

I. Introducere. Noţiuni generale — *5 ore*

1. Definiţia chimiei organice. 2. Caracterul deosebit al compuşilor organici. 3. Sursele de materie organică de pe planeta noastră. 4. Izolarea şi purificarea substanţelor organice. 5. Analiză elementară. 6. Stabilirea formulei brute a unei substanţe organice. 7. Formule moleculare. 8. Hidrogenul şi carbonul în compuşii organici. Legături chimice în compuşi organici. Hibridizarea atomilor de carbon. Orbitali hibrizi. 9. Deosebirile între hidrocarburi şi alte hidruri. 10. Catene de carbon. 11. Izomerie. Structură. 12. Aranjarea spaţială a atomilor în moleculele substanţelor organice. 13. Clasificarea compuşilor organici. Hidrocarburi şi funcţiuni organice.

II. Hidrocarburi — *20 ore*

1. Hidrocarburi saturate (alcani şi cicloalcani) a) Nomenclatură. Structură. b) Stare naturală. c) Proprietăţi fizice şi chimice ale hidrocarburilor saturate.

2. Alchene. a) Caracterizarea dublei legături. b) Nomenclatură. c) Structură. Izomerie. d) Metode de preparare a alchenelor. e) Proprietăţi fizice. f) Proprietăţi chimice. g) Diene. h) Utilizări ale alchenelor.

3. Polimerizarea alchenelor. Compuşi macromoleculari. a) Polimerizarea macromoleculară. b) Proprietăţile polimerilor macromoleculari. c) Compuşi macromoleculari mai importanţi. d) Cauciucul. Cauciucuri sintetice. e) Dezvoltarea industriei de mase plastice şi de cauciuc sintetic în ţara noastră.

4. Alchine (acetilene). a) Generalităţi : definiţie, structură, serie omologă, formulă generală, nomenclatură, radicali şi izomerie. b) Proprietăţi fizice şi chimice ale alchinelor : reacţii de oxidare, adiţie, polimerizare şi substituţie exemplificate la acetilenă. c) Metode de prepararea acetilenei. d) Compuşi metalici ai acetilenei. e) Utilizările acetilenei. Importanţa industrială. f) Exerciţii

Lucrări de laborator şi demonstraţii :

— Prepararea metanului în laborator din carbură metalică şi acid clorhidric
— Arderea metanului şi caracterul flacării
— Obţinerea etenei din alcool etilic
— Comportarea etenei faţă de apa de brom
— Obţinerea acetilenei din carbid şi cercetarea proprietăţilor ei
— Prepararea acetilurilor de cupru şi argint

5. Hidrocarburi aromatice. a) Definiţie. Structura benzenului după Kékulé şi după teoria mecanicii cuantice (sextet aromatic). Orbitali aromatici. Serie omologă. Nomenclatură. Izomerie. Clasificare. Stare naturală. b) Metode de obţinere. Izolarea hidrocarburilor aromatice din subprodusele uzinelor cocsochimice. Metoda Friedel-Crafts. c) Proprietăţile benzenului. Caracterul aromatic. Reacţii de substituţie şi de adiţie. Efectul de orientare a substituenţilor în nucleu. d) Hidrocarburi din seria benzenului. Proprietăţi. e) Hidrocarburi cu mai multe inele aromatice.

6. Petrolul şi gazele naturale. a) Gazele naturale. Compoziţie. Importanţa metanului ca materie primă pentru industria chimică din ţara noastră. b) Petrolul brut. Origine. Zăcăminte de petrol. Extracţia petrolului. Compoziţia petrolului. c) Prelucrarea petrolului brut şi cracarea petrolului. d) Obţinerea din petrol a hidrocarburilor aromatice. e) Petrolul, bogăţie naturală a ţării noastre. Petrolul, materie primă în industria petrochimică.

Lucrări de laborator şi demonstraţii :

— Bromurarea benzenului şi a toluenului
— Oxidarea toluenului la acid benzoic
— Sublimarea naftalinei
— Distilarea ţiţeiului (demonstraţie)

ANUL IV

Secţiile reală şi umanistă
(2 ore săptămînal = 62 ore anual)

Repartizarea orelor

Predare, lucrări de laborator şi probleme	52 ore
Recapitulare	5 ore
Lucrări scrise şi pregătirea lor	2 ore
La dispoziţia profesorului	3 ore
Total	62 ore

CHIMIE ORGANICĂ

I. **Recapitularea unor noţiuni principale de chimie organică** — *2 ore*

a) Definiţia chimiei organice. Hidrocarburi. Catene. Formula moleculară. Structură, izomerie. Electrovalenţă şi covalenţă. Legături simple, duble şi triple. Legături aromatice, sextet aromatic.

b) Tipuri de reacţii chimice întîlnite în chimia organică; reacţii de substituţie, adiţie oxidare, izomerizare, cracare, polimerizare, esterificare, condensare, policondensare.

II. **Principalele clase de compuşi organici cu grupări funcţionale monovalente** — *14 ore*

1. Combinaţii halogenate. Definiţie. Utilizările compuşilor halogenaţi.

2. Alcooli şi fenoli. a) Alcooli. Generalităţi: definiţie, structură, exemple, nomenclatură, clasificare după cele 3 criterii. b) Metode generale de preparare a alcoolilor. c) Proprietăţi fizice şi chimice: reacţia cu metalele alcaline, deshidratarea, reacţia de esterificare şi de oxidare. d) Alcooli monohidroxilici mai importanţi: metanolul, etanolul, ciclohexanolul, preparare, proprietăţi, utilizări. e) Noţiuni despre eteri: eterul etilic.f) Alcooli polihidroxilici: glicolul, glicerina. Utilizări. g) Fenoli. Clasificare. Metode de obţinere. h) Proprietăţi fizice şi chimice. Întrebuinţările fenolilor.

3. Combinaţii organice simple ale azotului. a) Nitroderivaţi. Grupa nitro. Nitroderivaţi aromatici şi nitroderivaţi alifatici. Proprietăţi şi utilizări. b) Amine. Clasificare. Metode de preparare. Proprietăţile fizice şi chimice ale aminelor. Utilizările aminelor. c) Funcţiuni azotate cu doi atomi de azot. d) Coloranţi azoici. Întrebuinţări. Indicatori.

III. **Aldehide şi cetone** — *5 ore*

1. Aldehide şi cetone saturate. a) Generalităţi: definiţie, structură, exemple, nomenclatură şi clasificare. b) Metode de obţinere: Metode oxidative, hidroliza compuşilor dihalogenaţi, adiţia apei la acetilene, reacţia Friedel-Crafts. c) Proprietăţi fizice. Proprietăţi chimice. Reacţii comune aldehidelor şi cetonelor: hidrogenare, reacţii cu acidul cianhidric şi cu compuşii organomagnezieni, condensări de aldehide şi cetone între ele, condensări cu compuşi aromatici (bachelita), condensări cu hidroxilamina. Reacţii specifice ale aldehidelor: oxidarea, autooxidarea şi polimerizarea. d) Reprezentanţi mai importanţi: formaldehida, acetaldehida, acetona. Utilizări.

2. Aldehide şi cetone nesaturate. a) Acroleina. Proprietăţi fizice şi chimice, adiţie de brom, hidrogenare.

3. Chinone. a) Chinona. Obţinerea din hidrochinonă. Proprietăţi fizice. b) Antrachinona. Obţinerea din antracen. Importanţa industrială.

Lucrări de laborator şi demonstraţii:

— Obţinerea acetaldehidei din etanol.
— Recunoaşterea aldehidelor cu reactivul Schiff.
— Obţinerea bachelitei A.
— Oxidarea formaldehidei cu o sare de argint.
— Obţinerea chinonei din hidrochinonă.

IV. **Acizi carboxilici** — *4 ore*

1. Acizi monocarboxilici saturaţi a) Generalităţi: definiţie, structură, exemple, nomenclatură, clasificare. b) Metode de obţinere, c) Proprietăţi fizice. Proprietăţi chimice: tăria acizilor carboxilici, ionizarea, constanta de aciditate, rezonanţa ionului carboxilat. d) Reprezentanţi mai importanţi ai acizilor monocarboxilici saturaţi: acidul formic, acidul acetic.

2. Acizi nesaturaţi Acizi nesaturaţi naturaţi. Izomeria cis-trans. Acidul maleic şi fumaric. Proprietăţi.

3. Acizi di şi policarboxilici saturaţi. a) Nomoenclatură, clasificare, preparare. b) Proprietăţi fizice. Proprietăţi chimice: descompunerea, formarea de anhidride şi formarea de cetone ciclice. c) Termeni reprezentativi: acidul oxalic.

Lucrări de laborator și demonstrații

— Descompunerea acizilor malonic, formic și oxalic.
— Prepararea acidului acetic prin oxidarea alcoolului etilic.
— Reacția dintre acidul sulfuric și o sare a acidului acetic.
— Reacția acidului oleic cu apa de brom.

V. **Derivați funcționali ai acizilor carboxilici și ai acidului carbonic** — *9 ore*

1. Esterii acizilor organici. a) Generalități: definiție, structură, exemple, nomenclatură, clasificare. b) Reacția de esterificare; deplasarea echilibrului, cataliza și viteza reacției de esterificare. c) Proprietățile esterilor. Hidroliza. d) Ceruri. e) Grăsimi: definiție, compoziție, exemple nomenclatură, clasificare. Biochimia grăsimilor. f) Tehnologia grăsimilor; izolarea și rafinarea; hidrogenarea. Uleiuri sicative. g). Săpunuri. Structura moleculelor de săpun și puterea de spălare. Detergenți. h) Esteri macromoleculari: teron (terilen); sticla plexi.

2. Amide. a) Generalități: definiție, structură, exemple, nomenclatură, clasificare. b) Obținere din săruri de amoniu ale acizilor carboxilici din anhidride și din cloruri acide. c) Proprietăți fizice. Structura mezomeră. Proprietăți chimice: hidroliză, deshidratare, hidrogenare. d) Fibre poliamidice: nylon, relon.

3. Nitrili. a) Generalități: definiție, structură, exemple, nomenclatură, clasificare b) Obținere din amide, din derivați halogenați și din săruri de diazoniu. c) Proprietăți fizice. Proprietăți chimice: hidroliză, hidrogenare. d) Acidul cianhidric. Obținerea industrială din metan, amoniac și aer; obținerea în laborator din cianuri alcaline și acid sulfuric. Proprietăți; toxicitate; utilizări. e) Acrilonitrilul; melana; cauciucul nitril.

4. Derivați funcționali ai acidului carbonic. a) Fosgenul; obținere din oxid de carbon și clor; proprietăți fizice și chimice; toxicitate. b) Acidul carbamic. Ureea: obținerea din bioxid de carbon și amoniac; proprietăți fizice și chimice; utilizări.

Lucrări de laborator și demonstrații

— Prepararea acidului benzoic din clorură de benzoil.
— Condensarea anhidridei ftalice cu fenolul.
— Prepararea benzoatului de metil.
— Experiențe referitoare la proprietățile soluției de săpun.
— Prepararea benzamidei din clorură de benzoil și amoniac.

VI. **Hidroxiacizi** — *1 oră*

1. Acizi fenolici

Acidul salicilic; obținerea din fenoxid de sodiu și bioxid de carbon; proprietăți; acidul acetil-salicilic (aspirina).

VII. **Amino-acizi și proteine** — *5 ore*

1. Amino-acizi. a) Amino-acizi naturali. Sinteze de α-amino-acizi: din acizi α-halogenați cu amoniac, din aldehide cu acid cianhidric și amoniac. b) Proprietăți. Amfioni. Soluții tampon. Peptide.

2. Proteine. a) Proteinele în organismele vii; enzimele, anticorpii, pigmenții respiratorii, substanța contractilă din mușchi. Caracterul specific. b) Structura polipeptidică. Denaturarea. c) Digestia și asimilația proteinelor. Vitaminele.

Lucrări de laborator și domonstrații:

— Denaturarea albuminei prin încălzire.
— Precipitarea albuminei cu acizi sau cu sulfat de cupru.
— Hidroliza proteinelor.

VIII. **Izomeria optică** — *3 ore*

a) Lumina polarizată. Activitatea optică; substanțe levogire și substanțe dextrogire.

b) Enantiomeri. Amestec racemic. Stereochimie; configurație. Atomul de carbon asimetric.

c) Izomeria optică la hidroxi-acizi (acidul lactic, acidul tartric), la α-amino-acizi.

d) Substanțe optic-active în natură. Importanța lor biologică.

IX. **Hidrați de carbon** — *9 ore*

1. Generalități: definiție, structură, exemple, nomenclatură, clasificare.

2. Monozaharide a) Aldoze și cetoze. Glicerinaldehida; glucoza; fructoza. b) Activitatea optică la monozaharide. c) Proprietăți fizice. d) Proprietăți chimice: eterificarea, reducerea la polioli, oxidarea la acizi aldonici și zaharici, oxidarea cu complecși de metale grele. e) Structuri ciclice ale monozaharidelor: formule perspectivice.

3. Dizaharide. a) Zaharoza, lactoza, maltoza, celobioza. b) Fabricarea zahărului.

4. Polizaharide. a) Celuloză. Compoziție, structură. Proprietăți: dizolvarea în soluție cuproxam. Celuloza sodată. Nitratul de celuloză. Celuloidul. Acetatul de celuloză. b) Amidonul.

Compoziție. Amidonul în plante. Reacția de culoare cu iodul. Glicogenul. c) Hîrtia. Fabricarea hîrtiei. Fabricarea celulozei din lemn. Fibre artificiale; procedeul viscozei.

Lucrări de laborator și demonstrații:

— Reacții de oxidare ale glucozei: reducerea soluției Fehling; reducerea sărurilor de argint (oglinda de argint).
— Dizolvarea celulozei în soluția Schweitzer.
— Tratarea celulozei cu amestec sulfonitric și obținerea nitratului de celuloză.
— Reacția de culoare a soluției de amidon cu iodul.

APARAT PENTRU DETERMINAREA EFECTULUI FORȚEI CORIOLIS

Conf. dr. ing. *VIRGIL OLARIU*, șef. laborator *NICOLAE MORARIU*, Brașov.

Articolul de față se referă la un aparat cu ajutorul căruia se determină, pe cale experimentală, efectul forței Coriolis care apare în timpul mișcării unui punct material într-un sistem de referință neinerțial.

Autorii acestui articol au primit certificatul de inventator nr. 51360 din 19 iulie 1968 pentru aparatul pe care-l vor prezenta în continuare.

Din mecanică se știe că forța Coriolis este proporțională cu masa m și viteza relativă v_r a punctului material, precum și cu viteza unghiulară ω a sistemului neinerțial față de care punctul material are o mișcare relativă; expresia vectorială a acestei forțe fiind:

$$\vec{F}_c = -2m\vec{\omega} \times \vec{v}_r \qquad (1)$$

În cazul aparatului de față „m" este masa unei piese cilindrice care se deplasează cu viteza relativă „v_r" de-a lungul unei bare elastice ce se rotește cu viteza unghiulară „ω".

1. *Descrierea aparatului.* Aparatul folosește principiul echivalenței, care arată că proprietățile de mișcare într-un sistem de referință neinerțial sînt aceleași ca și într-un sistem inerțial în prezența unor cîmpuri de forțe.

Într-un sistem inerțial mișcarea corpurilor, care nu se află sub acțiunea unor forțe exterioare, este rectilinie și uniformă.

Pe baza principiului echivalenței, mișcarea punctului material într-un sistem neinerțial în rotație uniformă, poate fi identificată, în cazul cînd asupra punctului nu acționează o forță exterioară, cu mișcarea unui punct material sub acțiunea simultană a două cîmpuri de forțe: centrifugale și Coriolis. Forțele centrifugale fiind orientate în sens opus accelerațiilor normale (de transport) iar forțele Coriolis în sens opus accelerațiilor transversale (Coriolis).

În cazul aparatului de față, conform principiului echivalenței, forța centrifugală „deplasează" piesa cilindrică (punctul material) de-a lungul barei elastice, obținîndu-se astfel o viteză relativă, iar forța Coriolis „presează" piesa cilindrică pe bara elastică provocîndu-i o anumită săgeată. Pentru măsurarea acestei săgeți (care reprezintă efectul forței Coriolis) aparatul de față este construit dintr-un ax vertical pe care este montat rigid un cadran gradat, și o bară elastică de-a lungul căreia glisează o piesă cilindrică. Efectul forței Coriolis se determină prin citirea săgeții

ce apare la extremitatea barei elastice ; în acest scop se foloseşte un cursor indicator antrenat de-a lungul gradaţiilor cadranului de către extremitatea barei elastice.

Aparatul (fig. 1) constă dintr-un suport 1 pe care se montează o carcasă 2, legată cu suportul 1 prin nişte picioare.

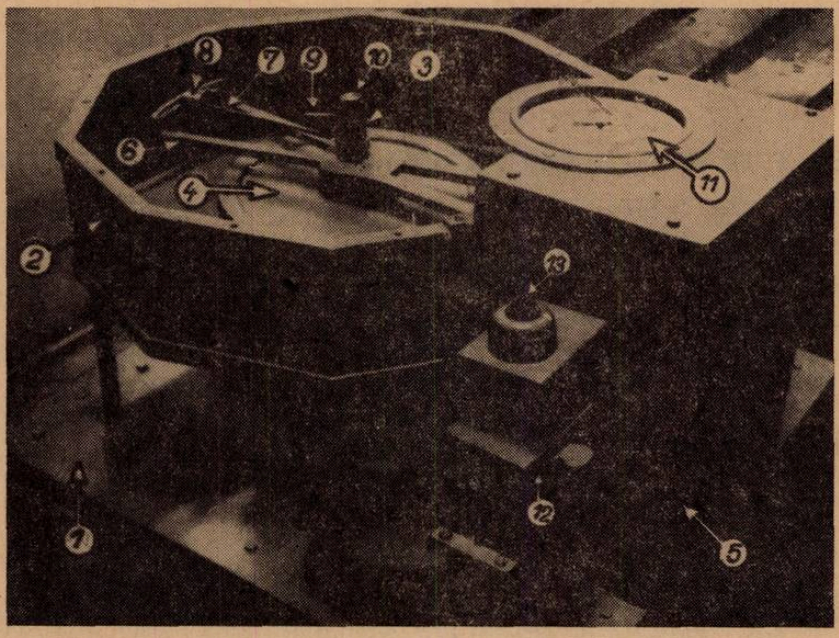


Fig. 1

În interiorul carcasei 2 se află un ax vertical 3 montat prin intermediul a doi rulmenţi —unul axial şi altul radial.

Pe axul vertical 3 este montată o roată 4 pentru care o curea trapezoidală, face legătura cu o roată de acţionare fixată direct pe axul unui electromotor cu turaţie variabilă. Acest electromotor este montat în poziţie verticală tot pe suportul 1, prin intermediul carcasei 5.

Pe axul vertical 3 mai sînt montate rigid un cadran gradat 6 şi o bară elastică 7, confecţionată din oţel de arc. Pe bara elastică 7 poate să gliseze o piesă cilindrică 8, de masă m, care este blocată prin intermediul unui mecanism 9, montat tot pe axul 3, care este acţionat din exterior prin apăsarea pe butonul 10.

Pe cadranul gradat 6 se află un ghidaj de-a lungul căruia se poate deplasa un cursor indicator, acţionat de extremitatea barei elastice 7.

Aparatul cuprinde de asemenea un tahometru 11, legat direct cu axa electromotorului, indicînd turaţia pentru care se determină forţa Coriolis şi efectul ei (săgeata barei elastice).

Reglarea turaţiei pentru care se execută experienţa se realizează cu ajutorul unei rezistenţe variabile 12.

Pentru amortizarea şocului produs de forţa centrifugală, cînd piesa cilindrică ajunge la extremitatea barei elastice, se foloseşte un tampon de cauciuc montat pe cadranul gradat 6.

Pentru pornirea şi oprirea aparatului se utilizează un întrerupător 13.

2. *Funcționarea aparatului.* Pentru determinarea efectului forței Coriolis, la o anumită turație citită pe tahometru, se declanșează piesa cilindrică 8 prin apăsarea pe butonul 10.

În aceste condiții forța centrifugală deplasează piesa cilindrică, 8, de masă m, de-a lungul barei elastice 7, obținîndu-se astfel viteza relativă v_r a piesei cilindrice 8 față de bara elastică 7, care se găsește în mișcare de rotație cu viteza unghiulară ω.

În timpul deplasării piesei cilindrice 8 de-a lungul barei elastice 7 apare forța Coriolis, cuprinsă în planul orizontal al barei elastice 7 și orientată normal pe această bară. Forța Coriolis provoacă o săgeată f la extremitatea barei elastice 7, datorită căreia cursorul indicator se deplasează de la diviziunea „zero" la o anumită diviziune.

După oprirea aparatului bara elastică revine în poziția inițială (la gradația „zero") iar cursorul indicator rămîne la gradația respectivă, care se citește pe cadranul gradat. Această citire indică chiar săgeata barei elastice provocată de forța Coriolis. Pe de altă parte săgeata barei elastice se determină cu formula unei grinzi incastrate la o extremitate:

$$f = \frac{F_c \cdot l^3}{3EI} \tag{2}$$

în care: F_c este forța Coriolis calculată cu formula din Mecanică ce corespunde aparatului de față: $F_c = 2\, m\, \omega^2\, a\, \text{sh}\, \omega\, t$ (3); a — distanța de la axa de rotație la piesa cilindrică de masă m; E — modulul de elasticitate al materialului barei elastice; I — momentul de inerție geometric al secțiunii barei elastice.

3. *Rezultatele experimentale.* În cele ce urmează se prezintă un exemplu practic pentru următoarele mărimi folosite în cadrul aparatului:

— turația electromotorului, $n_0 = 1500$ rot/min;

— distanța de la axa de rotație la piesa cilindrică, $a = 60$ mm;

— distanța, de la axa de rotație la extremitatea barei elastice, $L = 225$ mm;

— lungimea barei elastice, de la punctul de încastrare la extremitatea sa, $l = 200$ mm;

— diametrul barei elastice $d = 5$ mm;

— diametrul roții de acționare $d_1 = 50$ mm;

— diametrul roții conduse $d_2 = 270$ mm;

— greutatea piesei cilindrice $G = 155$ gf.

Cu aceste valori se obține: masa piesei cilindrice: $m = \frac{G}{g} = \frac{0{,}155}{9{,}81}$ kgf·s²/m.; viteza unghiulară a axului vertical al aparatului: $\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{\pi}{30}\frac{d_1}{d_2} n_0 = \frac{\pi}{30}\frac{50}{270} 1500 = 29$ rad/s; valoarea sinusului

hiperbolic de ωt; $\operatorname{sh} \omega t = \frac{1}{a}\sqrt{L^2 - a^2}$; forța Coriolis, pe baza ecuației (3):

$$F_c = 2m\omega^2 \sqrt{L^2 - a^2} = 2\,\frac{0{,}155}{9{,}81}\cdot 29^2\sqrt{0{,}225^2 - 0{,}06^2} = 5{,}75 \text{ kgf};$$

săgeata la extremitatea barei elastice, pe baza ecuației (2):

$$f = \frac{F_c \cdot l^3}{3EI} = \frac{5{,}75.20^3}{3.2{,}1.10^6.30{,}68.10^{-4}} = 2{,}3 \text{ cm}.$$

Această săgeată corespunde cu cea citită pe cadranul gradat.

BIBLIOGRAFIE

[1] *Landau, L. D., Lifșiț E. M.*, Teoria cîmpului, București, Editura tehnică, 1963.
[2] *Olariu, V.* Mecanică teoretică vol. III, Litografia Institutului politehnic Brașov, 1969.
[3] *Vilcovici V., Bălan St., Voinea* D., Mecanică teoretică, București, Editura tehnică, 1963.

ELEMENTE DE TEHNOLOGIE A PROGRAMĂRII (VIII)

EUGEN NOVICICOV, București

RECTIFICAREA PROGRAMEI

Înainte de a trece la verificarea programei prin aplicarea ei în procesul de instruire a unui grup de elevi, se recomandă să se facă o rectificare a programei, rectificare constînd dintr-un *examen sistematic*, și din așa numita *analiză a erorilor*.

A. Examenul sistematic constă din: verificarea programei după lista de examinare și din verificarea metodologiei.

1. *Verificarea după lista de examinare* presupune analiza programei prin relevarea elementelor care pot răspunde la întrebările grupate în modul următor:

a. examinarea *prin prisma obiectivelor și conținutului*:

— programa cuprinde tot ce trebuie să cuprindă *în raport cu obiectivele inițiale*?

— au fost *eliminate toate elementele care nu fac parte din obiectiv* sau nu au un rol precis pentru atingerea obiectivelor?

— *au fost eliminate din programă cunoștințele pe care elevii le aveau* (relevate prin testul inițial) și dacă nu, există vreun motiv serios de a le reține?

— se evită acordarea unui *loc prea important* unor aspecte care nu merită acest loc sau invers?

— nu s-a făcut nici o eroare în ceea ce privește conținutul materiei?

b. examinarea *instrucțiunilor de procedură*:

— sînt clare complet și ușor de înțeles instrucțiunile pentru parcurgerea programei?

c. examinarea *organizării ideilor-cheie*:

— s-a încercat să se stabilească sistematic *relația între cunoștințele prealabile ale elevilor și informațiile noi*?

— programa a fost construită urmînd o abordare particulară: *de la simplu la complex, de la concret la* abstract, de la general la particular?

d. examinarea *funcţiilor informaţionale ale* secvenţelor :

— s-au eliminat *detaliile nesemnificative* care riscă să distragă atenţia ?

— informaţia este prezentată *într-o formă* suficient de *concretă* ?

— s-au folosit suficiente *scheme, figuri, demonstraţii* ?

— *exemplele sînt suficient de variate* pentru a nu-i forma elevului o vedere parţială sau falsă asupra conceptelor respective ?

— există suficiente *exerciţii şi recapitulări* ?

— *se repetă suficient* de des aceleaşi noţiuni pentru a obţine o bună memorare ?

— *tehnicile de stimulare şi sugerările* sînt suficient de variate ?

— *nu s-a abuzat* de aceste tehnici ?

— aceste tehnici sînt adecvate ?

e. examinarea *funcţiei de răspuns a secvenţelor* :

— elevii dispun de *suficiente informaţii* pentru a putea răspunde la întrebări ?

— s-au evitat întrebările la care elevii ar putea răspunde *fără să înţeleagă întrebarea* ?

— programa permite *să se răspundă în diferite moduri* (redactare, scheme, desene, figuri) ?

— în cazul unor răspunsuri la alegere *se prezintă toate posibilităţile rezonabile de erori* ?

— răspunsurile găsite nu sînt *absurde sau prea uşor de recunoscut* ?

— *tipul de răspuns cerut este în concordanţă cu comportamentul final* ? Programa nu-l antrenează pe elev numai pentru cunoaşterea răspunsului corect, în timp ce el va trebui mai tîrziu să găsească soluţia unei probleme ?

f. examinarea *funcţiilor integratoare ale programei* :

— i se oferă elevului *posibilitatea de a folosi simultan elementele pe care şi le-a însuşit* pas cu pas pentru a rezolva anumite probleme ?

— *elementele generalizatoare au fost puse sub formă de tabele, grafice, hărţi*, etc., de fiecare dată cînd a fost posibil ?

— programa îl ajută pe elev *să-şi organizeze cunoştinţele prealabile înainte de a trece la parcurgerea ei* şi de a le conecta la informaţiile noi ?

— i se oferă elevului la sfîrşitul programei o *tablă de materii sau un rezumat* care să-i prezinte planul programei ?

— elevul are posibilitatea de *a-şi împrospăta cunoştinţele cuprinse într-o parte sau alta a programei* (manualul e diferit de manualul de referinţă).

g. *examinarea funcţiei motivaţionale* :

— programatorul a încercat să varieze secvenţele de revizie ? Repetarea simplă a fost înlocuită de cîte ori era posibil printr-o revizie cu alţi termeni ?

— *nivelul de dificultate* al secvenţelor este bine adaptat la grupul de elevi cărora li se adresează programa ? (descurajare sau plictiseală).

— exemplele şi ilustraţiile sînt *interesante* pentru respectivii elevi ?

— elevii care cunosc o parte a programei pot să treacă *peste această parte* ?

h. examinarea *formei programei*:

— vocabularul şi sintaxa sînt adaptate la nivelul elevilor?

— *semnificaţia noilor termeni* e definită suficient de clar în momentul introducerii lor?

— cuvintele folosite nu sînt ambigue?

— numerotarea secvenţelor, punctuaţia, sînt corecte şi sistematice?

2. Examinarea *metodologiei*

— programatorul a respectat *o anumită rutină de lucru* care riscă să facă programa *monotonă*?

— tehnicile folosite contribuie şi la formarea unor *deprinderi de muncă*? (efect tehnologic general).

— *unde va căuta elevul răspunsurile* la întrebările formulate în secvenţă?

B. Analiza greşelilor. Realizată într-o formă programa este supusă unei analize clinice şi unei analize sistematice a erorilor.

1. *Analiza clinică* presupune alegerea unui eşantion mic de elevi (5—10), de nivel mediu, relevat cu ajutorul testului iniţial de cunoştinţe şi parcurgerea programei de către acest colectiv, după ce se oferă toate lămuririle necesare pentru însuşirea tehnicii de lucru. Se urmăreşte modul de lucru al fiecărui elev, notînd toate observaţiile cu privire la încercările pe care le face acesta, timpul pe care îl foloseşte la fiecare secvenţă, etc. ...Elevul poate fi solicitat să gîndească cu voce tare; pentru a nu fi jenat de prezenţa experimentatorului, în camera de lucru se montează un microfon şi se înregistrează pe bandă magnetică.

După parcurgerea programei se administrează testul final (de eficacitate) prin eşantion experimental. Întrebările care li se vor pune elevilor vor fi de tipul următor:

— Este greu capitolul pe care l-aţi parcurs?

— Unde nu au fost clare explicaţiile (ce nu aţi înţeles bine)?

— Există termeni al căror înţeles nu s-a clarificat pe parcurs? etc.

Răspunsurile pot fi solicitate şi în scris, caz în care elevilor li se va acorda mai mult timp de gîndire.

2. *Analiza sistematică a erorilor*, presupune folosirea programei *în condiţii normale*, adică într-o clasă obişnuită. Aplicînd *testul iniţial* în mai multe clase, *se alege pentru experimentare o clasă cu cel mai mare număr de elevi cu un nivel mediu de cunoştinţe* (în analiza copiilor nu vom lua în evidenţă, în *acest moment*, extremele).

Elevii vor lucra cu programa (după ce li se dau instrucţiunile necesare), iar la terminarea lucrului pe fiecare caiet-programă se notează datele elevului şi timpul folosit pentru parcurgerea ei. În ora imediat următoare (după pauză) se administrează testul de eficacitate.

Avînd aceste materiale programatorul poate trece la analiza statistică propriu-zisă. Ea se face *pe individ* şi *pe secvenţă*.

Statistica erorilor pe individ se realizează analizînd răspunsurile date de fiecare elev la fiecare secvență. În acest fel se alcătuiește un tabel, pentru fiecare elev, al răspunsurilor greșite :

Elevul : — Anton E.			
Nr. crt.	Secvența	Răspunsul greșit	Caracterul greșelii
1	No. 9	. . . . .	P
2	No. 16	. . . . .	C
3	No. 17	. . . . .	C
4	No. 28	. . . . .	P
5	No. 39	. . . . .	C

Analiza acestor răspunsuri poate arăta că elevii au greșit fie în ceea ce privește *înțelegerea conținutului materiei*, fie că nu au înțeles *ce anume li se cere să facă* (procedura). Se notează cu C greșelile din prima categorie și cu P cele de categoria a doua.

Se trece apoi la rezolvarea statisticii pe erori. Pentru aceasta se întocmește un grafic în care pe verticală se notează numele elevilor, iar pe orizontală numărul secvențelor. Pentru fiecare elev se introduc în grafic, la locul respectiv, indicii P sau C în conformitate cu situația din tabelul individual.

Totalul obținut ca urmare a acestei analize este relevant pentru corectitudinea programei : se consideră că o secvență este bine concepută și redactată dacă numărul greșelilor nu depășește 5% din totalul răspunsurilor, în caz că numărul greșelilor este mai mare se revăd secvențele respective, și se dă o nouă redactare (eventual, se mărește numărul lor).

Nr. crt.	Secvența Elev	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	...	...	...	TOTAL C	TOTAL P	TOTAL General
1	Anton E.									P											
2	Barbu C.				C									C	C						
3	Costache N.									P	C										
4	David I.							C		P											
5	Enea S.				P						C										
6	Firu T.									P											
...	. . . . .								...	...			...	...	...						
...	. . . . .								...	...			...	...	...						
...	. . . . .						..	...	...	...			...	...	...						
	TOTAL C																				
	TOTAL P																				
	TOTAL GENERAL																				

În analiza unei programe ramificate se va studia cîți elevi aleg un răspuns greșit și care sînt răspunsurile greșite cu cea mai mare frecvență ; în general, cel puțin 50% din elevi trebuie să parcurgă programa fără a alege răspunsuri greșite.

Vorbind despre corectarea secvențelor, *Gavini* menționează ca surse posibile de erori *lungimea prea mare a textului din secvența respectivă, distanța (în număr de secvențe) mare la care se găsește cuvîntul (termenul) cerut, nivelul înalt de dificultate al textului, lipsa de claritate a explicațiilor, lipsa unor sugerări.*

Să presupunem că am făcut toate rectificările necesare și — în raport cu recomandările generale — programa ne apare ca satisfăcătoare. Ne mai rămîne de făcut un singur pas — validarea.

VALIDAREA PROGRAMEI

Prin validare înțelegem măsurarea eficacității reale după criterii mai obiective.

Se impune să menționăm că validarea reprezintă un moment completamente diferit față de experimentările care se fac în timpul elaborării programei.

Validarea trebuie să permită să măsurăm valoarea programei într-o situație normală de utilizare, adică în situația reală de lucru a elevilor în clasă.

Cum se face validarea?

a. Se aplică programa în condiții normale după care se administrează *testul de eficacitate* discutat mai înainte. Rezultatele obținute la acest test pot fi suficient de elocvente pentru a defini valoarea programei. *Programa se va considera eficace în cazul în care 90% din elevi vor răspunde exact la 90% din întrebări.*

În afară de testul care se aplică imediat după parcurgerea programei *un test asemănător se poatea administra și după o anumită perioadă de timp* (cîteva săptămîni sau luni) pentru a releva trăinicia elementelor însușite.

b. O altă variabilă importantă și definitorie pentru programă o reprezintă *timpul folosit de elevi pentru parcurgerea* respectivei programe. Evident acest lucru poate fi pus în evidență numai în perioada în care elevii lucrează cu această programă.

c. În fine, nu este mai puțin interesant de aflat și opiniile elevilor care lucrează cu programa. Evident, datele obținute prin sondarea opiniilor nu pot fi hotărîtoare, dar îi pot oferi programatorului precum și profesorului practician sugestii pentru organizarea procesului de instruire.

* * *

Am întocmit acest material documentar (I—VII) cu speranța că vom putea contribui la o primă valorificare a problemelor pe care le ridică tehnologia programării. Etapele descrise, precum și recomandările făcute pentru desfășurarea activității în fiecare etapă, nu constituie un rețetar; practica programării evoluează și, o dată cu ea, se perfecționează și tehnologia respectivă. Important este ca profesorul programator să înțeleagă necesitatea găsirii și respectării unor modalități de lucru precise, clare și relevante.

Formarea intelectualului de tip nou, multilateral pregătit, înzestrat cu cunoștințe temeinice de specialitate, capabil să aplice în procesul de producție sau în procesul de instruire și educare a elevilor metodele cele mai bune de predare, constituie un proces complex care începe în facultate și se desăvîrșește în activitatea productivă.

METODA CICLICA PENTRU STABILIREA EXPRESIEI VARIAȚIEI ENERGIEI INTERNE LA UN GAZ PERFECT.

Prof. dr. doc. *LUCIUS SĂVEANU*

În această lucrare ne propunem să deducem, pe cale teoretică, expresia variației elementare a energiei interne pentru un proces termodinamic oarecare al unui gaz perfect, după o metodă ciclică, în care transformarea oarecare dată, împreună cu două transformări auxiliare adecvat alese să formeze un ciclu termodinamic.

În acest scop se pleacă de la expresia matematică cunoscută a primului principiu al termodinamicii aplicat unei transformări deschise oarecare AB (fig. 1) pe care o parcurge un sistem termodinamic oarecare:

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta L \tag{1}$$

în care:

ΔU = variația finită a energiei interne în transformarea sistemului de la starea A la starea B; ΔQ = schimbul total de căldură al sistemului cu mediul exterior, corespunzător aceleiași transformări; ΔL = schimbul total de lucru mecanic al sistemului cu mediul exterior, corespunzător aceleiași transformări.

Prin trecere la limită se obține o altă expresie cunoscută:

$$\mathrm{d}U = \mathrm{d}Q - \mathrm{d}L \tag{2}$$

Din elementele de definire și caracterizare, cunoscute, ale variației energiei interne ΔU, se știe că aceasta, fiind o *funcție de stare*, nu depinde decît de valoarea pentru starea inițială U_A și cea pentru stare finală U_B:

$$\Delta U = U_B - U_A \tag{3}$$

iar diferențiala ei $\mathrm{d}U$ este o diferențială totală exactă.

De asemenea, potrivit legii clasice a lui Joule, pentru un gaz perfect variația energiei interne *depinde numai de temperatura gazului*, indiferent de transformare. Cu alte cuvinte variația energiei interne pentru un proces izotermic oarecare al unui gaz perfect se consideră totdeauna nulă.

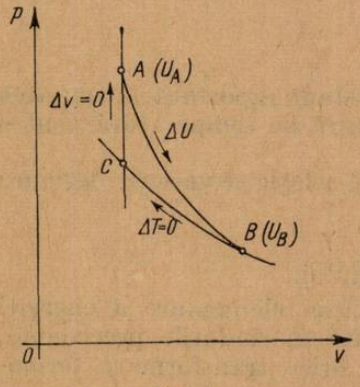


Fig. 1

Să considerăm acum o transformare termodinamică oarecare a unui gaz perfect A — B, reprezentată în figură într-un sistem de coordonate oarecare (folosim sistemul $p - V$). Fie ΔU variația energiei interne pentru această transformare.

Închiderea ciclului termodinamic în care este inclusă transformarea AB oarecare, se poate face prin izoterma ce trece prin B și prin izocora ce trece prin A. Cu alte cuvinte de la starea B se poate ajunge din nou la starea inițială A printr-o transformare izotermă (izoterma BC), plus o transformare izocoră (izocora CA).

Potrivit relației (3), pentru un ciclu termodinamic avem :

$$\Delta U = \oint \mathrm{d}U = 0 \tag{4}$$

Scriind acest lucru pentru cazul concret al ciclului ABCA considerat, avem :

$$\Delta U + (\Delta U)_{BC} + (\Delta U)_{CA} = 0 \tag{5}$$

Transformarea BC fiind izotermă, conform legii amintite a lui Joule, avem :

$$(\Delta U)_{BC} = 0 \tag{6}$$

În ce privește variația de energie internă în transformarea izocoră CA, avem (conform relației 1) :

$$(\Delta\, U)_{CA} = (\Delta Q)_{CA} - (\Delta L)_{CA}$$

Întrucît $\Delta L = p\,\Delta V$ și deoarece în transformarea izocoră $\Delta V = 0$, rezultă :

$$(\Delta L)_{CA} = 0$$

și deci :

$$(\Delta U)_{CA} = (\Delta Q)_{CA} \tag{7}$$

Din calorimetrie se știe că pentru o transformare izocoră :

$$(\Delta Q)_{CA} = c_v(\Delta T)_{CA} = -\,c_v(\Delta T)_{AC} \tag{8}$$

Deci, ținînd cont de (7) avem :

$$(\Delta U)_{CA} = -\,c_v(\Delta T)_{AC} = -\,c_v(\Delta T)_{AB} \tag{9}$$

Aceasta întrucît variația de temperatură $\Delta T = T_B - T_A$ în transformarea AB este egală și cu variația de temperatură în transformarea AC, deoarece punctele B și C se află pe aceeași izotermă.

De aici rezultă :

$$\Delta U = c_v\,\Delta T \tag{10}$$

Prin diferențierea variațiilor finite, se ajunge la expresia variației elementare a energiei interne pentru unitatea de masă a unui gaz perfect într-o transformare oarecare :

$$\mathrm{d}U = c_v\,\mathrm{d}T$$

în care c_v este căldura specifică la volum constant raportată la unitatea de masă de gaz, iar $\mathrm{d}T$ este variația elementară de temperatură pentru gazul perfect considerat.

În cazul unui mol de gaz perfect aceeași relație se va scrie desigur :

$$\mathrm{d}U = C_v\,\mathrm{d}T$$

în care C_v este căldura specifică molară a gazului.

Considerăm că stabilirea expresiei variației elementare a energiei interne pentru un gaz perfect pe calea indicată în rîndurile precedente, arată că această expresie este valabilă pentru orice transformare termodinamică a unui gaz perfect.

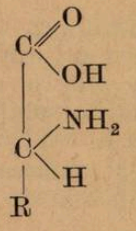
AMINOACIZII. ROLUL ȘI IMPORTANȚA LOR BIOCHIMICĂ.

Modificarea aminoacizilor liberi la unele plante de cultură ca urmare a unor măsuri agrotehnice.

MARIA PĂUNEȚ, ION BADEA, București

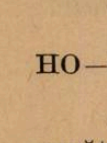
Aminoacizii, după cum se știe, constituie cărămizile de construcție a proteinelor, cu care se află în echilibru dinamic și la a căror biosinteză și reînoire contribuie. Prin locul pe care-l ocupă în configurația spațială a moleculelor proteice, aminoacizii determină funcțiile biologice cît și principalele însușiri fizico-chimice ale acestora. În cursul metabolismului ei pot să se transforme „în fel și chip" și astfel să pună la dispoziție elementele necesare altor procese și altor substanțe proprii organismului. Toate proprietățile proteinelor sînt în ultimă instanță și proprietăți ale aminoacizilor. De aceea pe drept cuvînt chimia aminoacizilor este considerată chimia vieții.

Aminoacizii, sau acizii aminați, sînt combinații organice ce conțin în moleculă două grupări funcționale caracteristice : gruparea aminică — NH_2 cu caracter bazic și gruparea carboxilică — COOH cu caracter acid, prima grupare în majoritatea cazurilor găsindu-se în poziția α față de gruparea carboxilică, așa cum rezultă și din formula lor generală, cu excepția glicocolului.

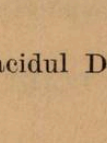


La carbonul α, pe lîngă gruparea aminică, se află un radical R purtător de carbon aromatic, alifatic sau heterociclic dar care la rîndul său poate să poarte și alte grupări funcționale.

Molecula de aminoacid prezintă o anumită configurație spațială, un anumit aranjament al atomilor sau a grupelor de atomi. Dispoziția sterică (spațială) a grupării — NH_2 în stînga, similar cu acidul L-lactic

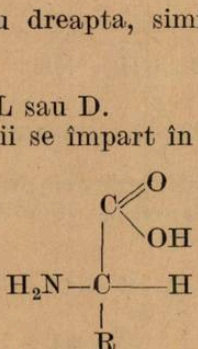


, sau dreapta, similar cu acidul D-lactic

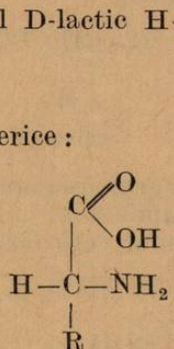


capătă notația L sau D.

Aminoacizii se împart în două serii sterice :

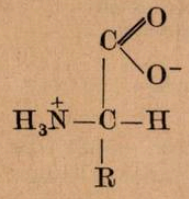


L—aminoacid



D—aminoacid

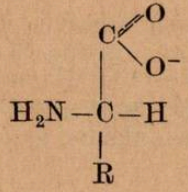
Formula generală a aminoacizilor expusă mai sus se modifică în :



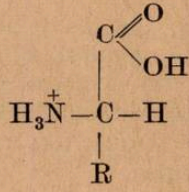
forma 1

formă cu ioni hibrizi, atunci cînd ambele grupări funcţionale sînt disociate (în soluţie aposă).

În prezenţă de baze (OH^-) aminoacizii se comportă ca acizi datorită reacţiei dintre OH^- şi gruparea cationică, iar în prezenţă de acizi (H^+) aminoacizii se comportă ca baze datorită reacţiei dintre H^+ şi gruparea anionică.



forma 2



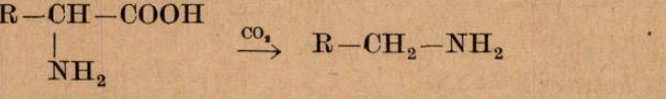
forma 3

(proprietatea acestora de a fi amfoteri, de a reacţiona atît cu OH^- cît şi cu H^+ permite utilizarea lor ca substanţe tampon).

Fiecărui aminoacid îi este proprie o anumită concentraţie în ioni de hidrogen (un anumit pH) cînd în soluţie apoasă sînt prezenţi în mod deosebit ioni hibrizi (forma 1) şi în cantitate mică dar în proporţie egală anioni şi cationi (formele 2,3) şi aminoacidul nu migrează în cîmpul electric. Această concentraţie în ioni de hidrogen poartă denumirea de punct izoelectric.

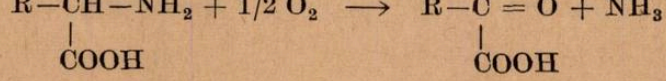
Prezenţa celor două grupări funcţionale — COOH şi — NH_2 prezente în molecula aminoacizilor reflectă însuşirile chimice caracteristice, proprii fiecărei grupări aparte dar şi proprietăţi ce ţin de prezenţa concomitentă a celor două grupări.

Astfel gruparea carboxilică determină formarea de esteri cu alcoolii (aminoacid + alcool → ester) formarea de săruri cu halogenii (halogenuri) şi decarboxilarea prin îndepărtarea grupării CO_2, aminoacidul transformîndu-se în amină.



aminoacid — amina corespunzătoare

În schimb gruparea aminică determină formarea de săruri cu acizii (betaine) şi dezaminarea, îndepărtarea grupării aminice duce la formarea consecutivă a unor cetoacizi.



aminoacid — cetoacid

$$R-\underset{\underset{COOH}{|}}{CH}-NH_2 + H_2O \longrightarrow R-\underset{\underset{COOH}{|}}{CH}-OH + NH_3$$

aminoacid — hidroxiacid

$$R-\underset{\underset{COOH}{|}}{CH}-NH_2 + H_2 \longrightarrow R-\underset{\underset{COOH}{|}}{CH_2} + NH_3$$

După cum se vede procesul de dezaminare are loc atît pe cale oxidativă cît şi pe cale neoxidativă. În organismul uman dezaminarea se face cu preponderenţă pe cale oxidativă reacţia fiind catalizată de enzime complexe : dezaminaze, transaminaze.

La rîndul lor gruparea aminică şi carboxilică, prezente concomitent, determină proprietăţi catacteristice corespunzător, ca: formarea de compuşi coloraţi cu ninhidrina, (formarea de compuşi complecşi coloraţi cu ninhidrina şi alte substanţe ca orceina, săruri de cupru, are o mare importanţă practică întrucît stă la baza tehnicilor moderne de identificare şi dozare a aminoacizilor după ce în prealabil au fost separaţi prin diferite metode), formarea legăturilor peptidice etc. Procesul de formare a legăturilor peptidice între gruparea carboxilică a unui aminoacid şi gruparea aminică a altui aminoacid, ce se realizează ca urmare a intervenţiei unor sisteme enzimatice deosebit de complexe, reprezintă de altfel prima treaptă în realizarea biosintezei proteinelor.

Principalii aminoacizi din natura vie şi constituţia lor chimică.

Cercetările biochimice efectuate pînă în prezent au identificat şi izolat din ţesuturile animale şi vegetale aproximativ 100 de aminoacizi. Din aceştia 20 aminoacizi, aparţinînd seriei L, prezintă o importanţă biologică deosebită întrucît intră în compoziţia proteinelor. Unii aminoacizi, deşi întîlniţi în organismul plantelor şi animalelor, nu participă la construcţia proteinelor, ci există în stare liberă.

Plantele şi numeroase microorganisme sînt capabile să sintetizeze din bioxid de carbon şi amoniac toţi aminoacizii existenţi în natură. Organismul animal este, din acest punct de vedere, în mare măsură dependent de cel vegetal deoarece nu poate sintetiza din compuşii simpli ai carbonului şi azotului aminoacizii de care are nevoie pentru construirea propriilor sale proteine precum şi pentru alte sinteze ori degradări, ci trebuie să plece de la alte substanţe organice mult mai complicate, acizi organici etc.

Compoziţia chimică a plantelor este mai variată şi incomparabil mai bogată decît compoziţia chimică a organismelor animale. Organismele animale şi bacteriile, în marea lor majoritate sintetizează substanţele organice de care au nevoie nu din combinaţii anorganice ca în cazul plantelor ci din substanţe organice complexe, primite sub formă de hrană proteine, amidon, grăsimi etc. care sînt descompuse în cursul digestiei organismului animal în componenţi mai simpli pentru a fi asimilaţi şi transformaţi în substanţe proprii.

În schimb manifestarea funcţiilor vitale şi viteza reacţiilor biochimice în organismul animal, ca urmare şi a selecţiei naturale şi artificiale este infinit mai bogată şi variată decît la plante, în parte datorită şi gradului de specificitate mai mare a proceselor biochimice ce au loc în sînul acestora.

Din totalul de 20 aminoacizi întîlniți în proteine, 8 și anume : lizina, triptofanul, treonina, metionina, leucina, izoleucina, valina, fenilalanina sînt considerați esențiali sau indispensabili deoarece nu pot fi sintetizați de organismul animal, iar alții doi și anume arginina și histidina, parțial esențiali, restul fiind neesențiali sau dispensabili deoarece pot fi sintetizați de organismul animal.

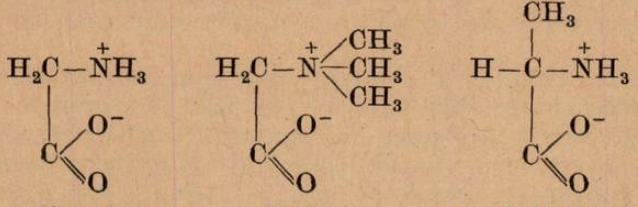
Cînd am expus formula generală a aminoacizilor am văzut că radicalul R poate avea caracter alifatic, aromatic sau heterociclic. În funcție de structura sa, molecula de aminoacid poate conține una sau mai multe grupări amino și carboxil. Aminoacizii care conțin în moleculă același număr de grupări — NH_2 și — COOH au caracter slab acid. Cînd numărul grupărilor — COOH întrece pe cel al grupărilor — NH_2 sau invers aminoacidul are caracter acid, respectiv bazic.

În cazul în care în structura exprimată de formula generală intră o grupare — COOH și una — NH_2 aminoacizii poartă denumirea de acizi monoaminomonocarboxilici, cînd integrează două grupări — COOH și una — NH_2 poartă denumirea de acizi monoaminodicarboxilici, comportîndu-se ca acizi, cînd integrează două grupări — NH_2 și una — COOH poartă denumirea de acizi diaminomonocarboxilici, comportîndu-se ca baze.

Ținînd seama de : caracterul radicalului R, de funcția și numărul grupărilor — NH_2 și — COOH, de însușirile și funcțiile aminoacizilor derivînd din formula de structură, chimiștii clasifică aminoacizii în diverse moduri.

Glicocolul, numit și glicină sau acid α-aminoacetic cel mai simplu aminoacid, optic inactiv și singurul care nu conține nici un atom de carbon asimetric. Se găsește atît în regnul vegetal cît și în cel animal; cu toate acestea glicocolul nu intră în structura tuturor proteinelor. Astfel proteinele de origine animală conțin cantități mici, deși în scleroproteine este foarte bine reprezentat, lipsind din unele proteine de origine vegetală ca de exemplu zeina din boabele de porumb, hordeina din boabele de orz. În majoritatea proteinelor vegetale se găsește în procente extrem de mici 0,2—1% atingînd 2,5—3,8 în proteina din cînepă, ricinina 6,62. În semințele unor plante se găsește și ca aminoacid liber.

Prin metilarea glicocolului se ajunge la betaină (ce se găsește numai ca ioni hibrizi sau de sare, de la ea derivînd denumirea de structuri betainice în cazul formulelor cu ioni hibrizi).



Glicocol Betaina L-Alanină

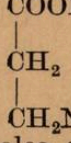
Glicocolul nu este un aminoacid esențial deoarece organismul animal îl poate sintetiza din serină, treonină, sarcozină, acid glioxilic. Totuși prezintă un interes deosebit biologic, deoarece participă la foarte multe procese biochimice importante.

Alanina sau acidul α-aminopropionic e considerat mama tuturor celorlalți aminoacizi pentru că prin înlocuirea a 1 sau 2 hidrogeni ai grupării metil cu alți radicali, se ajunge la formulele structurale ale celorlalți

aminoacizi. Se găseşte în toate proteinele vegetale şi animale în cantitate mare; în zeina boabelor de porumb atingînd 9—10%. Poate fi identificat ca aminoacid liber în alge, frunze de tutun şi alte plante. După cum se ştie alanina aparţine seriei L dar s-a pus în evidenţă şi forma D.

Alanina este un aminoacid neesenţial deoarece organismul animal îl poate sintetiza din acid piruvic, acid aspartic şi kinurenină (derivat al triptofanului).

Există şi β-alanină, singurul β-aminoacid din natura vie



izolată din extracte de carne şi se găseşte ca aminoacid liber în multe plante: tomate, fasolea soia, mere necoapte, rădăcini de leguminoase.

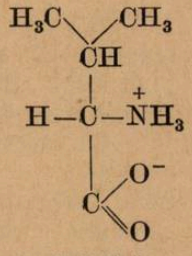
β-alanina joacă un rol biologic important întrucît intră în compoziţia acidului pantotenic (ce face parte din complexul de vitamine B) şi prin aceasta în structura coenzimei A, cu funcţii în oxidarea glucidelor, protidelor, lipidelor.

Valina numit şi acid α-aminoizovalerianic se găseşte în numeroase proteine animale şi vegetale în cantitate mică, doar în proteinele seminţelor de in în cantitate mare de 12,7%.

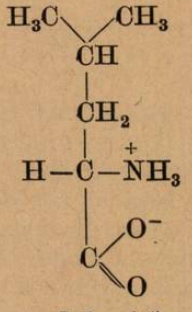
În stare liberă a fost pus în evidenţă în lucernă şi în boabele de secară în stare de germinaţie.

Leucina numit acidul α-aminoizocapronic intră în constituţia tuturor proteinelor din natura vie, în cantitate mai mare prezent în proteinele vegetale din boabele de porumb 19—25% şi din boabele de orz 7,4%.

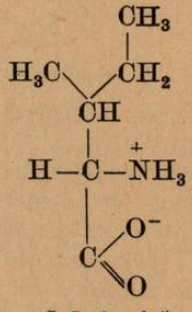
În stare liberă se găseşte în seminţe germinate. Izoleucina sau acidul α-amino-β-metil valerianic, identificată în numeroase proteine vegetale şi animale, valina, leucina şi izoleucina avînd acelaşi schelet carbonic sînt chimic asemănătoare motiv pentru care leucina şi izoleucina se deosebesc extrem de greu încît foarte adesea determinarea lor se face împreună. Aceşti aminoacizi fac parte din grupa celor esenţiali deoarece catena ramificată nu poate fi sintetizată de majoritatea organismelor animale.



L-Valină



L-Leucină

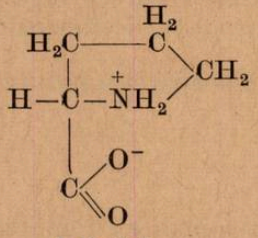


L-Izoleucină

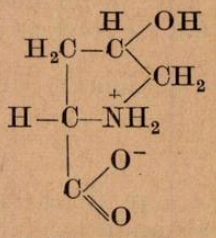
Fiind un precursor în biosinteza compuşilor cu structură izoprenică leucina joacă un rol biologic foarte important.

Prolina sau acidul pirolidin — α-carboxilic se găseşte aproape în toate proteinele vegetale şi animale în cantitate mare în prolaminele din cereale. În stare liberă se întîlneşte în unele ţesuturi animale şi vegetale.

Prin structura sa prolina se aseamănă cu derivatul său hidroxilat, hidroxiprolina prin aceea că gruparea α-aminică este inclusă în inelul ciclic. Hidroxiprolina ia parte la formarea multor proteine vegetale şi animale ca şi prolina.



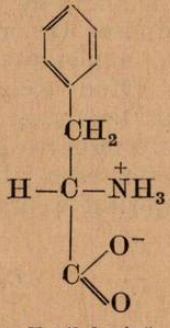
L-Prolină



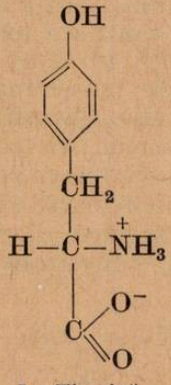
L-Hidroxiprolina

Fenilalanina sau acidul α-amino β-fenipropionic, intră în constituţia aproape a tuturor proteinelor (cu 4—7%). În stare liberă se găseşte în sucul multor plante.

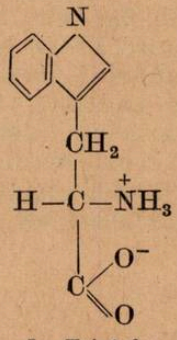
Structural ne indică un inel aromatic, motiv pentru care nu poate fi sintetizat de organismele animale fiind deci un aminoacid esenţial important din punct de vedere biologic, constituind materia primă din care se sintetizează hormonii tiroidieni şi cei ai medulosuprarenalei. Fenilalanina este în strînsă relaţie cu tirozina numit şi acidul α-amino β-parahidroxifenilpropionic şi triptofanul numit acidul β-indol α-amino-propionic.



L—Fenilalanină



L—Tirozină



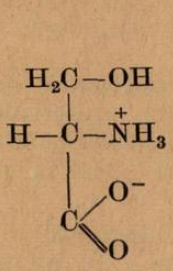
L—Triptofan

Tirozina după cum se vede conţine o grupare fenolică OH cu proprietăţi slab acide, în schimb triptofanul conţine un inel indol. Ea intră în constituţia multor proteine semnalîndu-se în cantitate mai mare în proteinele de porumb (10%), pepeni, dovleci, castraveţi. Un rol biologic deosebit joacă şi derivaţii săi, adrenalina, tiroxima şi tiramina.

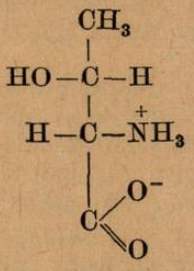
Triptofanul intră în structura majorităţii proteinelor naturale vegetale şi animale. În stare liberă se găseşte în fructe precum şi organele tinere ale plantelor. Prin oxidare şi desaminare triptofanul se transformă în heteroauxină.

Serina sau acidul α-amino-β hidroxipropionic deşi în cantitate mică se găseşte în foarte multe proteine vegetale şi animale. În cantitate mai mare se constată în seminţele de cînepă, în migdale iar în stare liberă în seminţele germinate, în sudoare etc. Este un aminoacid neesenţial deoarece poate fi sintetizat din glicocol şi aldehidă formică sau din produşii

de metabolizare ai glucidelor cu trei atomi de carbon. Ca şi glicocolul în care se transformă ia parte la multe procese metabolice. Serina constituie una din principalele surse de carbon folosită de materia vie în procesul de biosinteză a multor compuşi (proteine, fosfatide etc.).



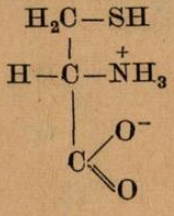
L-Serina



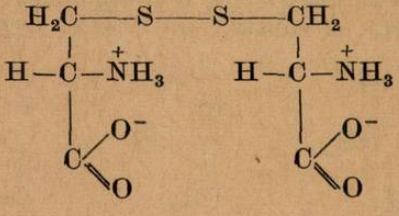
L-Treonină

Treonina sau acidul α-amino-β-hidroxibutiric este omologul superior al serinei. Se găseşte în procent mai mare în proteinele din cînepă, cartofi, cereale şi în lactoglobulină (7 — 10%). Este un aminoacid esenţial şi este sintetizat în plantele, verzi din acid aspartic.

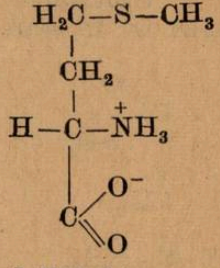
Cisteina sau acidul α-amino-β-mercaptopropionic şi *cistina* sau acidul β-diamino β-triolacetic, aminoacizi foarte răspîndiţi în natură ce conţin sulf.



L-Cisteina

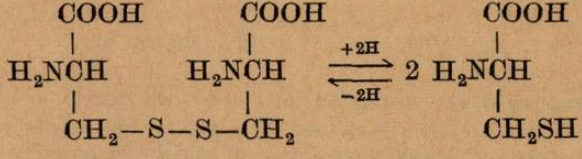


L-Cistina



L-Metionina

Gruparea tiol (—SH) din cisteină este reactivă putînd pierde uşor hidrogenul stabilindu-se o legătură disulfidică între atomii de sulf. În cazul a două molecule de cisteină se formează o moleculă de cistină, cisteina fiind deci jumătate din cistină.



Procesul de transformare a cisteinei în cistină este reversibil funcţionînd ca sistem oxido-reducător, fenomen important la nivelul celulelor deoarece ia parte la respiraţia lor, cisteina fiind transportor de hidrogen.

Cistina se găseşte în proteinele animale (unghii, păr), şi în cele vegetale ca cele de cartof, orez, secară, grîu iar în stare liberă în unele alge.

Cisteina este prezentă în produşii de hidroliză ai proteinelor ce conţin cistină. Participă la construcţia unor proteine animale şi vege-

tale din epidermă, din cînepă, etc. apare şi în stare liberă în rădăcinile şi frunzele unor plante. E uşor solubilă în apă, în schimb cistina e greu solubilă formînd calculi în rinichi. Sub acţiunea oxigenului din aer cisteina se oxidează uşor trecînd în cistină.

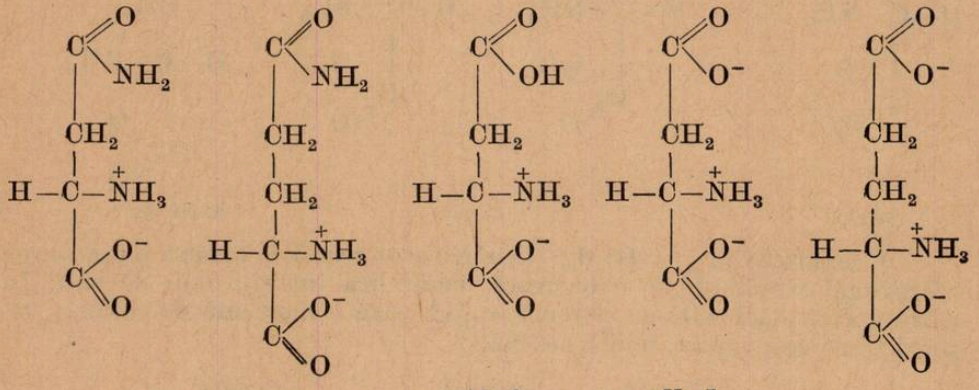
Cisteina şi cistina sint aminoacizi parţiali esenţiali pentru că pot fi înlocuiţi în alimentaţia animalelor prin metionină din care pot fi sintetizaţi.

Metionina sau acidul α-amino γ-metiltiolbutiric se găseşte în numeroase proteine vegetale şi animale, 3% în proteinele din tomate şi 2,5—4%, în cele din seminţele de cereale. În stare liberă apare în seminţe de ierburi. Reprezintă furnizorul de grupări metil în biosinteza creatinei, colinei, betainei, adrenalinei.

Asparagina şi *glutamina*, amidele aminoacizilor dicarboxilici cu proprietăţi hidrofile datorită grupării aminice. În procesul de hidroliză a proteinelor cu acid sau bază, grupările amidice se scindează rezultînd amoniac şi acid asparaginic respectiv glutaminic, asparagina alături de glutamină constituind rezerva de amoniac în metabolismul azotat al plantei.

Asparagina, descoperită în sparanghel, ia parte la construcţia proteinelor vegetale în cantitate mare aflîndu-se în mugurii şi lăstarii plantelor etiolate. În stare liberă e semnalată în multe organe vegetale mai ales rădăcini şi embrioni.

Glutamina, izolată din sfeclă, e componentă a proteinelor vegetale, iar în stare liberă se constată în diferite organe vegetale.



L-Asparagină — L-Glutamină — Acid L-Asparaginic — Acid L-Glutamic

Acidul asparaginic, aspartic sau α-aminosuccinic există în natură în special sub formă de asparagină. Ia parte la construcţia proteinelor vegetale şi animale cu caracter neutru şi acid. În cantităţi mari apare în proteinele vegetale edestina, glicinina, etc. Este o componentă foarte importantă în metabolismul azotat.

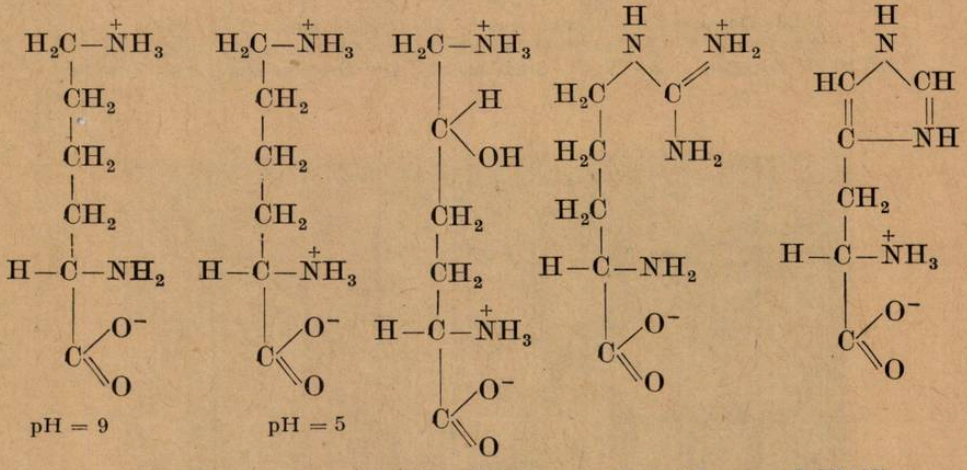
Acidul glutamic sau acidul α-aminoglutaric este un acid monoaminodicarboxilic ca şi acidul asparaginic. Intră în constituţia proteinelor animale şi vegetale cu caracter neutru. În cantitate mare se află în proteinele simple din seminţele de cereale. Se găseşte în plante şi animale, şi în stare liberă. Acidul glutamic prin reacţiile de transaminare la care ia parte, constituie o punte de legătură între diversele căi metabolice.

Acidul D-glutamic- cel mai frecvent aminoacid întîlnit din seria D- prezent în hidrolizatele proteidelor vegetale ca ghiadina din grîu, edestina din cînepă, orizemina din orez e semnalat și în proteinele din tumorile canceroase.

Lizina sau acidul α,ε-diaminocapronic cu o grupare aminică liberă în catena laterală ce-i conferă funcția de bază, există în forme diferite ca sarcină electrică în funcție de pH-ul soluției. Se mai găsește în colagen și hidroxilizină. Participă la construcția multor proteine animale și vegetale, lipsa ei din proteinele zeină și hordeină, de exemplu, le conferă o valoare biologică scăzută, fiind un aminoacid esențial.

Arginina sau acidul α-amino δ-guanidinic este un alt aminoacid bazic, prezent în toate proteinele în cantitate mare în edestină 16,04%. Este un aminoacid esențial și are un rol biologic important intrînd în ciclul reacțiilor de formare a ureii.

Histidina sau acidul α-amino β imidazolil-propionic componentă aproape a tuturor proteinelor vegetale și animale prezentă în cantitate mare în cele din semințele de tomate sau cînepă. Se găsește și liberă dar în cantități mici, în numeroase organe vegetale. Prin decarboxilare trece în histamină iar sub acțiunea histidazei în acid glutamic. Este un aminoacid parțial esențial, de asemenea cu caracter bazic. Lizina, arginina și histidina pentru că au 6 atomi de carbon sînt denumiți baze hexonice.



L-Lizina L-Hidroxilizina L-Arginina L-Histidina

Modificarea conținutului în aminoacizi liberi ca urmare a tratamentelor cu erbicide.

În agrotehnica modernă tratamentul unor plante de cultură cu substanțe chimice de natură erbicidă are ca scop, după cum se știe, înlăturarea buruienilor, pe calea acestui procedeu urmărindu-se economisirea de timp și forțe de muncă cu păstrarea și eventual îmbunătățirea condițiilor biologice a plantelor de cultură tratate.

Identificarea și determinarea aminoacizilor constituie o operație extrem de dificilă întrucît aminoacizii sînt asemănători din punct de vedere chimic fiecare conținînd grupări funcționale similare. În chimia aminoacizilor aspectul calitativ-cantitativ e redat atît prin numărul aminoacizilor — fiecare din aminoacizi jucînd un rol anumit, cît și prin locul și prezența sa în formula biochimică a plantei (prin acesta înțele-

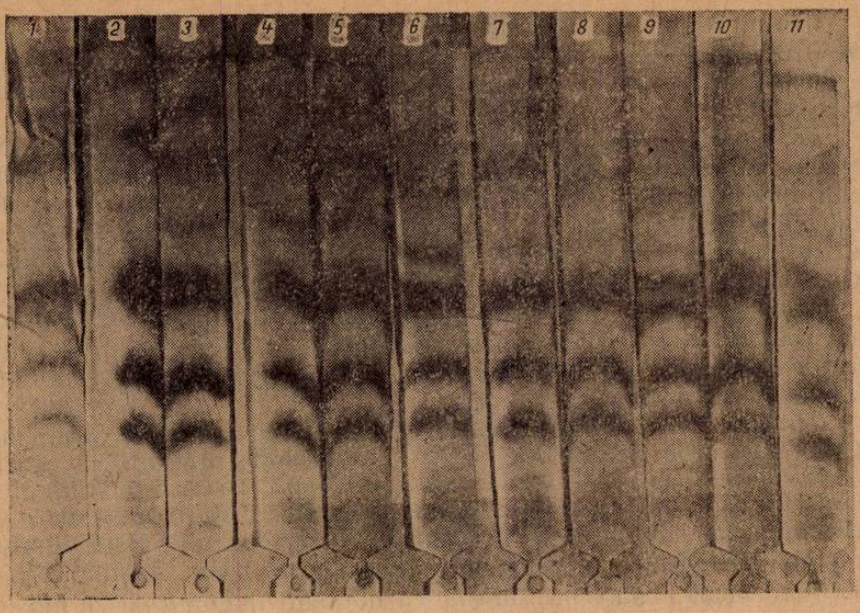


Fig. 1 Oryza Satyva 1968

1.2.3. Donskoi 2 : 1—Stam uscat ; 2—Ordram apa ; 3—R 4574
4.5.6.7. Cuban 3 : 4—M ; 5—Stam uscat ; 6—Ordram apa ; 7—R 4574
8.9.10.11. Mimasari : 8—M ; 9—Stam uscat ; 10—Ordram apa, 11—R 4574

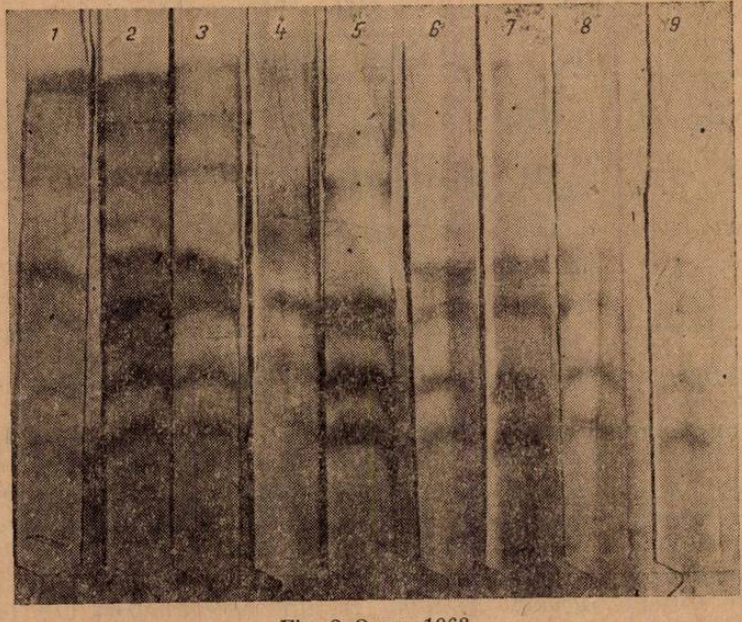


Fig. 2 Oryza 1968

1.2.3.4. Krasnodar 424 : 1—M ; 2—Stam uscat ; 3—Ordram apa ; 4—R 4574
5.6.7.8. Bellardone : 5—M ; 6—Stam uscat ; 7—Ordram apă 8—R 4574
9. Donskoi ; 9—M

gînd totalitatea factorilor ce asigură nutriția și în general existența organismului vegetal sau animal) cît și prin intensitatea cu care aminoacizii se oglindesc și se manifestă, confirmînd astfel deosebit de concludent modificările de ordin dialectic ce se produc în viața organismelor vegetale și animale.

Amintim faptul științific stabilit că plantele și organismele superioare prin adaptarea lor mai bună la mediu pot pierde unul sau mai mulți aminoacizi. Aceasta înseamnă că prezența unuia sau a altuia în anumite condițiuni la un anumit moment dat presupune o mai bună adaptare, dar că în alte condițiuni, după ce aminoacidul respectiv și-a jucat rolul, devine inutil și poate sau trebuie să dispară.

În studiul aminoacizilor ca urmare a modificării însușirilor acestora, au survenit serioase dificultăți înlăturate numai prin punerea la punct a unor metode de identificare și separare, metode care evident solicită o anumită aparatură precum și abilitate dintre care amintim cromatografia pe hîrtie și schimbători de ioni, electroforeza, ultracentrifugarea, ultimele privind îndeosebi identificarea, clasificarea fracțiunilor proteice.

Prin cromatografia pe hîrtie se pot determina cantități extrem de mici (cca. 5 μg).

Amestecul de aminoacizi se aplică pe o foaie de hîrtie filtru, asigurîndu-se întîi un echilibru cu ajutorul vaporilor unui solvent. Apoi se cufundă hîrtia în solventul organic care, ca urmare a forțelor capilare este intens absorbit, antrenînd substanțele proporțional, cele mai mult sau mai puțin solubile. Substanțele se separă în funcție de solubilitatea lor în apă și în solventul organic. Poziția ce o ia fiecare substanță e caracterizată prin valoarea *Rf*.

Autorii materialului de față, în cadrul unui studiu, au executat tratamente cu erbicide STAM F 34, Ordram E6, R4574 și Weedar special asupra a cinci soiuri de orez cu precocitate diferită: Krasnodar, Bellardone, Cuban 3, Donskoi și Mimasari urmărind cu această ocazie în funcție de perioada de vegetație și acumulările biochimice modificările ce survin în compoziția aminoacidă a plantelor tratate. (figurile)

S-a constatat, în ce privește bobul la soiul Krasnodar, că tratamentul cu STAM F 34 aplicat în uscat determină cea mai mare modificare a compoziției aminoacide identificîndu-se un număr de 10 aminoacizi dintre care acidul glutamic, glutamina, alanina și tirosina manifestîndu-se deosebit de intens.

Tratamentul cu Ordram în apă reflectă prezența activă a 8 aminoacizi în timp ce tratamentul cu R 4574 nu relevă o situație deosebită față de martorul netratat.

La soiul Bellardone sînt prezenți toți aminoacizii ca în cazul martorului dar se manifestă mai puțin intens, în timp ce la soiul Donskoi se remarcă o sporire a conținutului de aminoacizi în raport de martor (similar cu Krasnodar), Cuban 3 și Mimasari mențin același număr de aminoacizi dar care manifestă mici variațiuni.

Concluzii.

— Substanțe necesare biosintezei proteinelor, transformărilor calitativ-cantitative, aminoacizii interesează esențial din punct de vedere biochimic viața și dezvoltarea organismelor vegetale și animale.

— Tratamentele cu substanțe chimice de natură erbicidă efectuate asupra unor plante de cultură au condus la concluzia modificării conținu-

tului aminoacid din plante și bob, și implicit a modificării numărului și rolului aminoacizilor.

— Cunoașterea aprofundată a rolului și importanței aminoacizilor, a eficienței activității de acționare și influențare a conținutului proteic din sînul organismelor vegetale și animale, valoarea economică a acestor acțiuni constituie numai cîteva din sarcinile de viitor pentru cercetarea chimică și tehnicilor ajutătoare.

UTILIZAREA ACIDULUI CLORHIDRIC REZIDUAL PENTRU VALORIFICAREA TITANULUI DIN NISIPURILE ILMENITICE

I. GH. CONSTANTINESCU, IRINA CONSTANTINESCU, V. T. MĂRCULEȚIU, GR. M. TEODORESCU, I.P.B., București

I. Titanul este un metal destul de răspîndit (0,41%), dar foarte dispersat și se cunosc puține minerale (ca ilmenita $FeO.TiO_2$, rutilul TiO_2) din care extragerea titanului sau a bioxidului de titan să se poată face economic.

Din totalul minereurilor titanifere exploatabile pe plan mondial, cca 2% se utilizează la separarea titanului metalic, 7% se consumă direct sub formă de minereuri în metalurgie, iar 91% se întrebuințează pentru obținerea bioxidului de titan.

Utilizarea titanului în domenii foarte variate (ca industria lacurilor și vopselelor, industria cauciucului sintetic, industria poligrafică la fabricarea unor cerneluri tipografice, industria siderurgică la fabricarea oțelurilor aliate cu largi aplicații în construcția de mașini, ș.a.), a condus la o dezvoltare continuă a tehnologiilor de obținere, la ora actuală atingîndu-se pe plan mondial o producție de 1,6 milioane tone anual.

II. Procedeele de obținere a bioxidului de titan sînt destul de numeroase și se pot grupa astfel:

1. Procedeul sulfat; 2. Procedeul clorurării; 3. Procedeul mixt; 4. Procedeul cu acid clorhidric.

Cu toate perfecționările aduse primelor trei grupe de procedee, nu s-a putut realiza pînă în prezent un optim din punct de vedere economic.

Astfel, în procedeul sulfat se obține un bioxid de titan impur care trebuie ulterior purificat și se consumă o mare cantitate de acid sulfuric cu oxizii însoțitori, acid care trebuie recuperat.

Procedeul clorurării este dezavantajos prin faptul că folosește materii prime scumpe (rutil și clor gazos).

Procedeul cu acid clorhidric prezintă avantajul că utilizează materii prime mai ieftine (ilmenita și HCl) și se aplică în 2 variante:

1. folosirea acidului clorhidric gazos.
2. folosirea acidului clorhidric în soluție apoasă.

III. În prezenta lucrare ne ocupăm de procedeul care folosește acid clorhidric în soluție apoasă. Dintre numeroasele variante ale acestui procedeu, apreciem ca mai reușite, varianta poloneză și cea americană.

Varianta poloneză, folosind un concentrat de ilmenit norvegian cu 46,2% TiO_2, a stabilit ca parametri tehnologici optimi:

— concentrația soluției de HCl 30%
— raport minereu — acid . . . . . 1—2,5
— temperatura . . . . . 55°C
— granulația . . . . . 0,043 mm
— timp de descompunere . . . . . 2—3 ore

Varianta americană, folosind un concentrat de ilmenit cu 41,7% TiO_2, a stabilit ca parametri optimi:

— concentrația soluției de HCl 35%
— raport mineral — acid . . . . . 1,2—2,4
— temperatura . . . . . 150—250°C
— granulația . . . . . fin măcinat
— timp de descompunere . . . . . 1—6 ore

Odată cu dezvoltarea industriei organice de sinteză, problema acidului clorhidric a căpătat o importanță crescîndă, pe de o parte din punctul de vedere al poluării apei și atmosferei și pe de altă parte din punctul de vedere al pierderilor de acid clorhidric.

Pentru valorificarea acidului clorhidric rezidual, se utilizează procedee oxidative și procedee electrolitice, ambele cu numeroase variante.

Din punct de vedere economic, acidul clorhidric efluent din aparatele de clorurare sau acidul clorhidric efluent din absorbere, se consideră fără valoare; folosindu-le ca materii prime trebuie să se producă clor al cărui preț de cost să nu depășească costul clorului electrolitic (obținut din NaCl). Acest lucru nu se poate însă realiza întodeauna economic. Punîndu-se problema depoluării apelor și atmosferei de acidul clorhidric rezidual, precum și problema valorificării acestuia, se întreprind mereu noi cercetări pentru aplicarea unor procedee cît mai eficiente.

La baza procedeului propus de noi și experimentat în laborator, a stat ideea obținerii TiO_2 simultan cu valorificarea HCl rezidual.

IV. Procedeul tehnologic propus (Fig. 1) pentru extracția titanului din ilmenit, folosind acid clorhidric rezidual are la bază reacția:

$$TiO_2 + 4HCl \rightarrow TiCl_4 + 2H_2O$$

Mineralul ilmenitic, care conține bioxid de titan, este atacat cu soluția de acid clorhidric rezidual, într-un vas închis etanș (4), confecționat din material antiacid, prevăzut cu agitator și cu manta de încălzire.

Soluția de $TiCl_4$ și $FeCl_3$ rezultate se separă prin filtrare de partea nereacționată a minereului, pe filtru (5). Soluția, astfel separată, este trecută într-un vas de reacție (6) în care se realizează separarea fierului ca $Fe(OH)_3$, în urma unei operații de neutralizare (cu soluție tampon $NH_4Cl + NH_4OH$).

Îndepărtarea Fe $(OH)_3$ se realizează în filtrul (7), iar $Fe(OH)_3$ separat se calcinează într-un cuptor (9), cînd trece în Fe_2O_3.

Soluția de $TiCl_4$, gălbuie la culoare din cauza prezenței $FeCl_3$ ca impuritate care nu s-a putut separa, se trece într-un vas de reacție (8) pentru operația de purificare finală, prin refluxare pe pulbere de cupru. Tetraclorura de titan pură este apoi trimisă spre prelucrare.

Mineralul ilmenitic nereacționat, separat pe filtrul (5), se spală cu apă fierbinte pînă la îndepărtarea urmelor de acid, după care, alături de materia primă proaspătă, se supune din nou atacului cu HCl rezidual.

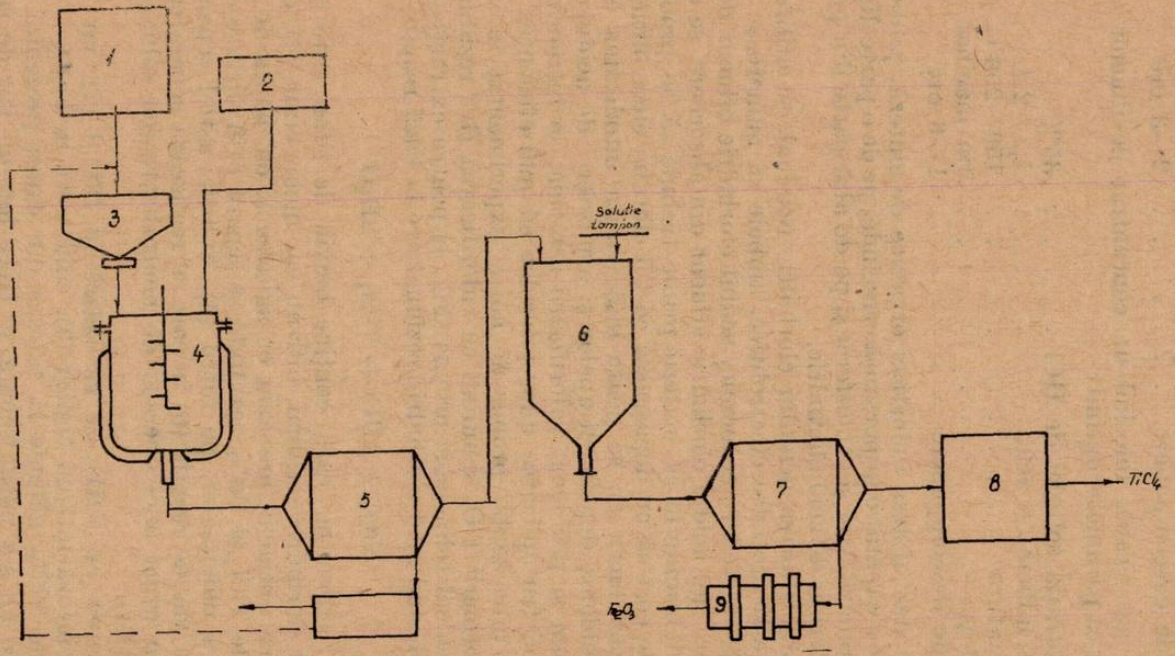


Fig. 1

1—depozit ilmenit; 2—rezervor cu HCl 30%; 3—cîntar dozator; 4—reactor; 5—filtru; 6—vas neutralizare; 7— filtru; 8 — vas de purificare a $TiCl_4$; 9—cuptor de calcinare

Materii prime utilizate în încercările experimentale.

a. Încercările au fost efectuate cu probe de HCl rezidual de la C. C. Borzeşti, de compoziţia arătată în tabelul 1.

b. Minereul ilmenitic a fost supus unei operaţii de concentrare prin metoda hidrogravimetrică.

Concentratul astfel obţinut a avut compoziţia arătată în tabelul 2.

Tabel 1.

componenţi	conţinut %
HCl	25—32
H_2SO_4	max. 0,3
Fe	max. 0,005
As	max. 0,002
Cl_2	lipsă
substanţe organice	50 mg/l

Tabel 2.

componenţi	conţinut %
TiO_2	32
FeO	36,8
Fe_2O_3	10
SiO_2	15
CaO	2,3
MgO	0,7
Al_2O_3	1,6

V. Determinări experimentale

Încercările efectuate au urmărit să stabilească modul cum diferiţii parametri influenţează asupra gradului de extracţie a titanului din mineralul ilmenitic şi randamentul valorificării acidului clorhidric rezidual.

a. *Influenţa concentraţiei soluţiilor de acid clorhidric*, este redată în tabelul 3.

Tabel 3

probe	conc. HCl	cant. probă ilmenit	t	raport mineral : HCl	granulaţia probei (medie)	Ti extras	timp de reacţie	randament de extracţie
Nr.	%	g	°C	.	mm	g	ore	%
1	25	1	50	1 :10	0,01	0,025	3	13
2	30	1	50	1 :10	0,01	0,0475	3	24,8
3	35	1	50	1 :01	0,01	0,0845	3	44

Încercările au dovedit că randamentul extracţiei creşte cu concentraţia soluţiei de acid (fig. 2).

b. *Influența raportului mineral — acid clorhidric,* este arătată în tabelul 4.

S-a lucrat cu raporturi de la 1 :2 pînă la 1 :20.

Randamentul extracției crește odată cu creșterea raportului mineral-acid, constatîndu-se că la raporturi mai mari de 1 :10, creșterea nu mai este sensibilă (fig. 3).

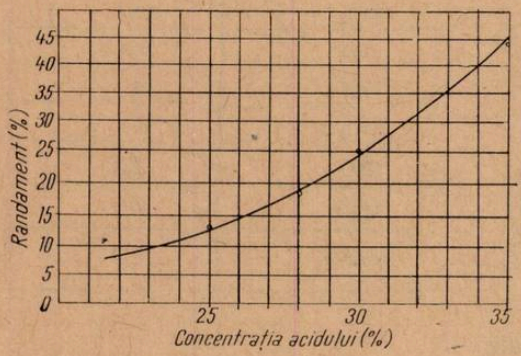


Fig. 2

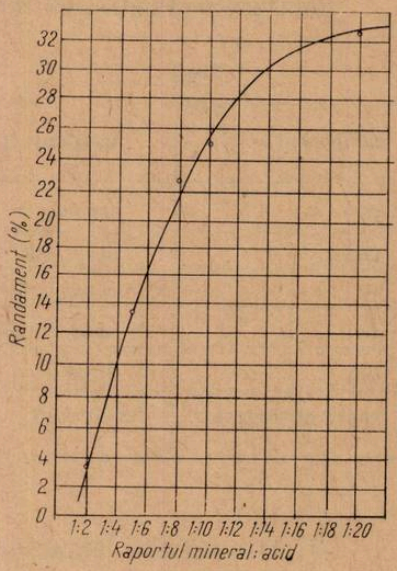


Fig.3

Tabel 4

probe	raport mineral : HCl	cant. probă ilmenit	granulația probei (medie)	t	timp de reacție	conc. HCl	Ti extras	randament de extracție
Nr.	·	g	mm	°C	ore	%	g	%
1	1 :2	1	0,01	50	3	30	0,0065	3,4
2	1 :5	1	0,01	50	3	30	0,0255	13,3
3	1 :8	1	0,01	50	3	30	0,0435	22,6
4	1 :10	1	0,01	50	3	30	0,0475	25
5	1 :20	1	0,01	50	3	30	0,0629	32,6

c. *Influența timpului de reacție.*

S-a studiat influența timpului de contact între minereu și acidul clorhidric pînă la 12 ore, obținîndu-se rezultatele din tabelul 5, cu constatarea că timpul de contact cel mai convenabil este în jur de 6 ore. (fig. 4).

d. *Influența temperaturii.*

S-a lucrat între temperaturile 24—100°C, cu datele din tabelul 6.

Tabel 5.

proba	timp de reacţie	t	conc. HCl	raport mineral : HCl	granulaţia probei (medie)	Ti extras	randament de extracţie
Nr.	ore	°C	%	—	mm	g	%
1	1	50	30	1 :10	0,01	0,011	5,75
2	3	50	30	1 :10	0,01	0,0276	14,4
3	6	50	30	1 :10	0,01	0,045	23,5
4	10	50	60	1 :10	0,01	0,06	31,2
5	12	50	30	1 :10	0,01	0,068	35,5

S-a constatat că temperatura de 50°C este optimă, peste această temperatură randamentul extracţiei scăzînd (fig. 5.).

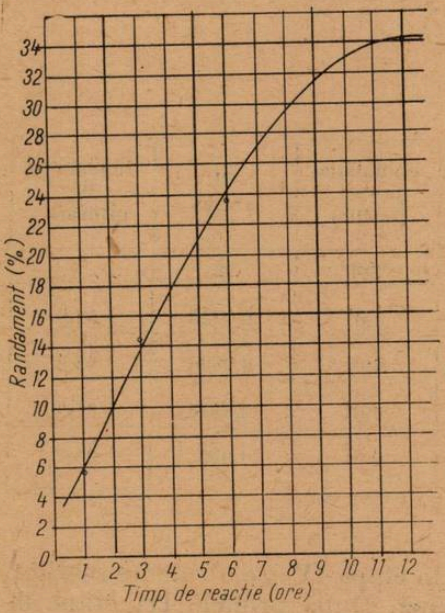


Fig. 4

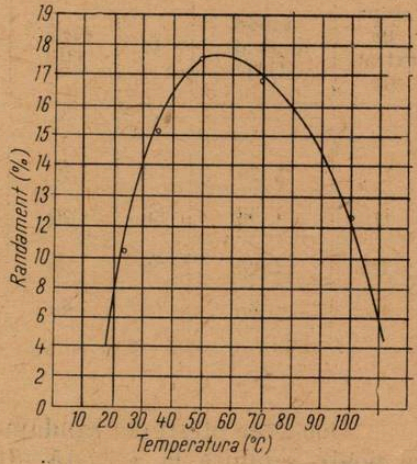


Fig. 5

Scăderea randamentului la temperaturi peste 50°C, o atribuim desorbţiei HCl la ridicarea temperaturii, fenomen care determină implicit micşorarea raportului dintre reactanţi.

Deoarece randamentul extracţiei titanului din aceste minerale are valori scăzute chiar şi în cazul desfăşurării reacţiei în condiţiile optime stabilite experimental, s-a încercat extracţia în mai multe etape, în două variante :

1. cu acid clorhidric proaspăt
2. cu acid clorhidric uzat

Tabel 6

proba	t	timp de reacţie	conc. HCl	raport mineral : HCl	granulaţia probei (medie)	Ti extras	randament de extracţie
Nr.	°C	ore	%	·	mm	g	%
1	24	3	30	1 :10	0,01	0,002	10,4
2	35	3	30	1 :10	0,01	0,04	18,4
3	50	3	30	1 :10	0,01	0,044	23
4	70	3	30	1 :10	0,01	0,041	21,8
5	100	3	30	1 :10	0,01	0,024	12,5

La extracţia cu acid clorhidric rezidual proaspăt se constată o creştere importantă a randamentului extracţiei în primele 3 etape, aşa cum arată datele experimentale din tabelul 7.

Tabel 7

etapa de extracţie	raport mineral : HCl	t	conc. HCl	timp de reacţie	granulaţia probei (medie)	Ti extras	randament de utilizare
·	·	°C	%	ore	mm	g	%
I	1 :20	50	30	3	0,01	0,0625	32,6
II	1 :20	50	30	3	0,01	0,0600	63,9
III	1 :20	50	30	3	0,01	0,0345	81,9
IV	1 :20	50	30	3	0,01	0,072	85,7

Deoarece creşterea randamentului în etapa IV are o valoare scăzută, se poate renunţa la această ultimă etapă. După primele III etape de extracţie, randamentul atinge o valoare de 82%.

În cazul extracţiei cu acidul clorhidric rezidual uzat (care a mai fost folosit la extracţii anterioare), se constată că după primele 3 etape, randamentul extracţiei ajunge la 52,50% (tabel 8).

Deci se constată un randament mai scăzut al extracţiei în cazul folosirii acidului clorhidric rezidual uzat, cum se poate vedea în fig. 6.

Acidul clorhidric rezidual folosit la extracţia titanului şi nereacţionat, poate fi utilizat ulterior şi în alte scopuri.

Pierderile de HCl rezidual prin procesele de evaporare şi de spălare se apreciază de a fi de ordinul 15%.

Tabel 8

etapa de extracţie	raport mineral : HCl	t	conc. HCl	timp de reacţie	granulaţia probei (medie)	Ti extras	randament de extracţie
·	·	°C	%	ore	mm	g	%
I	1 :20	50	30	3	0,01	0,0625	32,6
II	1 :20	50	30	3	0,01	0,085	44,4
III	1 :20	50	30	3	0,01	0,102	52,5

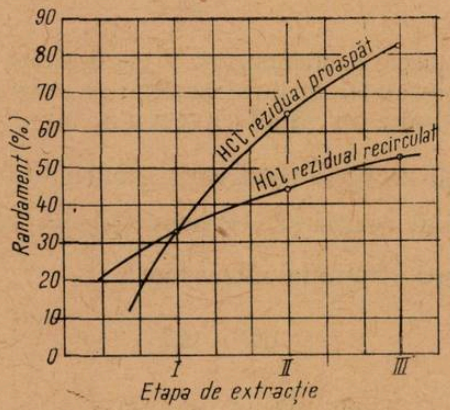


Fig. 6

VI. Din lucrarea prezentată, se desprinde concluzia că extragerea titanului din mineralele ilmenitice cu acid clorhidric rezidual, este suficient de economică, deoarece : foloseşte materii prime cu preţ de cost destul de scăzut şi permite recuperarea parţială a acidului clorhidric rezidual.

BIBLIOGRAFIE

1. *Creangă O. Constantinescu I.* Revista de chimie nr. 8—1967.
2. *Grigoriu H.* Revista de chimie nr. 2 — 1966.
3. *Mayar Y.* Chem. Rundscau nr. 7 — 1965.
4. *Mayar Y.* Chem. Rundscau nr. 24—1964.
5. *Najda J.* Przemysl Chemiczuy nr. 3 — 1968.
6. *Pozin M. E.* Tehnologhia mineralnîi solei Gosthimizdat — Moscova 1962.
7. — * * * Brevet german 857.633 1952.
8. — * * * Brevet german 873.688 1953.
9. — * * * Brevet german 873.689 1953.
10. — * * * Brevet finlandez 29 A, 220—5 (1956).
11. — * * * Brevet american 3.060.002 (1962).

MODIFICAREA UNOR PROPRIETĂȚI MICROSCOPICE ALE LICHIDELOR PRIN ACȚIUNEA CÎMPULUI ULTRASONOR

N. IONAȘCU, Brașov

1. În prezenta lucrare sînt studiate modificările unor proprietăți microscopice ale glicerinei — lichid pur — sub acțiunea cîmpului ultrasonor. Studiul a fost efectuat prin măsurarea coeficientului de vîscozitate dinamică după încetarea acțiunii cîmpului ultrasonor [1], [2].

2. În acest studiu ne situăm în cadrul teoriei moleculare cinetice a stării lichide a lui I. I. Frenkel [3], [4]. Conform acestei teorii coeficientul de vîscozitate dinamică este dat de relația :

$$\eta = 2 \cdot \frac{\theta_0}{\delta^3} kT \cdot e^{\frac{U}{kT}} \tag{1}$$

unde : δ este deplasarea elementară a moleculelor de lichid, θ_0 perioada de oscilație a moleculelor în jurul poziției de echilibru, U este energia de activare, k constanta lui Boltzmann, iar T temperatura absolută a lichidului.

Determinînd variația relativă a coeficientului de vîscozitate dinamică $\frac{d\eta}{\eta}$ și folosind relația (1), se poate calcula variația energiei de activare prin acțiunea cîmpului ultrasonor :

$$dU = kT \cdot \frac{d\eta}{\eta} \tag{2}$$

Cunoscînd pe $\frac{d\eta}{\eta}$ se pot obține informații și asupra variației relative a coeficientului de difuzie liniar prin acțiunea cîmpului ultrasonor. Din relația cunoscută :

$$D = \frac{kT}{6 \pi a \eta} \tag{3}$$

unde D este coeficientul de difuzie liniar iar a raza moleculei, cu relația (1), în ipoteza că prin ultrasonare :

$$\frac{\delta^3}{\theta_0} \approx \text{constant} \tag{4}$$

se obține :

$$\frac{dD}{D} = -\frac{1}{kT} dU \tag{5}$$

sau :

$$\frac{dD}{D} = -\frac{d\eta}{\eta}, \tag{6}$$

De asemenea cum timpul de relaxare de orientare și de translație, pentru mișcarea de difuzie este :

$$\tau_{\text{orientare}} = \frac{4\pi}{3} \cdot a^3 \frac{1}{kT} \eta \tag{7}$$

BIBLIOTECA „ASTRA"

$$\tau_{\text{translație}} = \frac{<x^2>}{D} = \frac{6\pi a <x^2>}{kT}\eta \qquad (8)$$

unde $<x^2>$ este distanța patratică medie de difuzie, rezultă :

$$\frac{d\tau_{\text{orientare}}}{\tau_{\text{orientare}}} = \frac{d\tau_{\text{translație}}}{\tau_{\text{translație}}} = \frac{d\eta}{\eta}. \qquad (9)$$

3. Condiții experimentale : ultrasonarea a fost efectuată cu ajutorul unui generator de ultrasunete de tip T e s l a la o frecvență de 10^6 Hz. Glicerina a fost introdusă într-un pahar B e r z e l i u s care a fost așezat deasupra cristalului de cuarț la o distanță de 10^{-2}m. Durata de ultrasonare 240 s. Intensitatea curentului anodic 80.10^{-3}A, iar tensiunea anodică de $1{,}2.10^3$ V, ceeace corespunde la o putere anodică de 96 W. Coeficientul de vîscozitate dinamică a fost măsurat cu un vîscozimetru O s t w a l d, imediat după ultrasonare, iar termostatarea a fost realizată cu un ultratermostat H ö p p l e r. Au fost efectuate determinări în intervalul de temperatură 278,15—290,65 °K.

4. Rezultatele măsurătorilor : coeficientul de vîscozitate dinamică, variația absolută a coeficientului de vîscozitate dinamică, variația relativă a coeficientului de vîscozitate dinamică, variația relativă a coeficientului de difuzie liniar, variația absolută a energiei de activare, variația relativă a timpului de relaxare de orientare și de translație pentru mișcarea de difuzie, prin ultrasonare, sînt date în tabelul nr. 1.

5. Concluzii. Prin ultrasonare se produce o micșorare a coeficientului de vîscozitate dinamică a glicerinei în raport cu glicerina ne tratată, (Tabelul nr. 1). Variația absolută a vîscozității dinamice prin ultrasonare

Tabelul nr. 1

T (k)	η_0 ($m^{-1}s^{-1}$kg)	η ($m^{-1}s^{-1}$kg)	$-d\eta$ ($m^{-1}s^{-1}$kg)	$-\frac{d\eta}{\eta} = \frac{dD}{D} = \frac{d\tau}{\tau}$ —	$-dU$ (J)
278,15	$2.069{,}6.10^{-3}$	$2.053{,}0.10^{-3}$	$16{,}6.10^{-3}$	$0{,}80.10^{-2}$	$3{,}07.10^{-23}$
280,65	$1\,722{,}4.10^{-3}$	$1.707{,}4.10^{-3}$	$15{,}0.10^{-3}$	$0{,}87.10^{-2}$	$3{,}36.10^{-23}$
283,15	$1\,375{,}1.10^{-3}$	$1.361{,}9.10^{-3}$	$13{,}2.10^{-3}$	$0{,}95.10^{-2}$	$3{,}71.10^{-23}$
285,65	$1\,145{,}0.10^{-3}$	$1.134{,}9.10^{-3}$	$10.1.10^{-3}$	$0{,}88.10^{-2}$	$3{,}47.10^{-32}$
288,15	$912{,}9.10^{-3}$	$907{,}2.10^{-3}$	$5{,}7.10^{-3}$	$0{,}62.10^{-2}$	$2{,}46.10^{-23}$
290,65	$708{,}5.10^{-3}$	$707{,}3.10^{-3}$	$,2.10^{-3}$	$0{,}17.10^{-2}$	$0{,}61.10^{-23}$

scade odată cu creșterea temperaturii. Există o temperatură pentru care această variație este nulă (în cazul nostru 290 °K).

Variația relativă a coeficientului de vîscozitate dinamică prin ultrasonare prezintă un maxim pentru temperatura de 283 °K, și se anulează pentru temperatura de 290 °K.

Pentrucă $d\eta/\eta < 0$, rezultă că $dU < 0$, $dD > 0$, $d\tau_{or} < 0$, $d\tau_{tr} < 0$, adică prin acțiunea cîmpului ultrasonor se produce *o micșorare a energiei de activare, o creștere a coeficientului liniar de difuzie și o micșorare a timpului de relaxare de orientare și de translație pentru mișcarea de difuzie.*

Variația relativă a coeficientului de difuzie liniar (în valoare absolută), a timpului de relaxare de orientare și de translație pentru mișcarea de difuzie are același aspect ca și variația relativă a coeficientului de vîscozitate dinamică.

BIBLIOGRAFIE

1. *Ausländer D., Olteanu C.*: „Acțiunea ultrasunetelor asupra curgerii lichidelor în tuburi capilare", în „Metode ultrasonice de măsurare și control", vol. IV, IDT, București, 1965, pag. 53—62.
2. *Nozdrev V. F.*: „Primenenie ultraakustiki v molecularnoi fizike", 1958.
3. *Frenkel I. I.*: „Introducere în teoria metalelor", Ed. Tehnică, 1953, pag. 206—222.
4. *Solomon M.*: „Vîscozimetrie", Ed. Tehnică, 1958, pag. 101—108.

I.P.I. — c. 6072

Index 43 459

Lei 3

SOCIETATEA DE ȘTIINȚE FIZICE ȘI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista
DE
FIZICĂ ȘI CHIMIE

SERIA A
VOLUMUL VIII

2

FEBRUARIE 1971

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE

STR. NUFERILOR 23, SECTORUL 7 BUCUREȘTI—46, TELEFON 16,42.86

SUMAR

Pag.

Programa de fizică pentru anii I—IV, Secția reală, ai liceului de cultură generală (proiect pentru discuții). 41

Prof. Dr. Docent *Matei Marinescu*, București

1. O sută de ani de la nașterea fizicianului român Nicolae Vasilescu Karpen 51

Conf. Dr. *I. Nicula*, Cluj

2. Centri de culoare paramagnetici 54

Ștefan Levai, Steliana Levai, Mihai Catrinescu, București

3. Forma liniei de absorbție R M N 62

Conf. *C. Rusescu*, Galați

4. Aparat pentru determinarea modulului de elasticitate la întindere 68

N. Rezlescu, Iași

5. Feritele (II) 71

COMITETUL DE REDACȚIE

Ion Agîrbiceanu, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România) **Constantin D. Albu**, lector univ.; **Teodor Bohățiel**, asist. univ., **Simion Bulgărea** prof. **Maria Codreanu**, prof.; **Andra Körner**, redactor; **Nicole Martalogu** conf. univ. **Eleonora Mihul**, cercetător; **Ion C. Moisil**, conf. univ; **Alice Negoescu**, prof. **Ion C. Petrea**, conf. univ.; **Victor Sahini**, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România); **Elena Teodoru**, prof. redactor șef

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

SERIA A

Volumul VIII, nr. 2 februarie 1971

BIBLIOTECA „ASTRA" SIBIU

PROGRAMA DE FIZICĂ*)

Pentru anii I—IV ai liceului de cultură generală

Proiect pentru discuţii

ANUL I Secţia reală

(4 ore săptămînal . . . 128 ore anual)

Repartizarea orelor

Predare	*88 ore*
Lucrări de laborator	*20 ore*
Teze şi pregătirea lor	*9 ore*
Recapitulare şi ore la dispoziţia profesorului	*11 ore*
Total . . .	*128 ore*

MECANICA

I. **Introducere** . . . . . *6 ore*

a. Obiectul şi metodele fizicii; importanţa ei pentru dezvoltarea ştiinţei şi tehnicii. *b.* Mărimi fizice şi măsurarea lor. Mărimi scalare şi mărimi vectoriale. Sistem de unităţi. *c.* Operaţii cu vectori. Adunarea şi scăderea vectorilor. Produsul unui vector cu un scalar. Produsul scalar şi produsul vectorial.

II. **Cinematica** . . . . . 15 *ore*

A. *Punctul material*: 1. *Noţiuni de cinematică*: *a.* Mişcarea mecanică. Sistem de referinţă. Mişcare şi repaus; relativitatea lor. Sistem material. Structura sistemelor. *b.* Modelul punctului material. Traiectorie, lege de mişcare. *c.* Viteză medie, viteză momentană. Vectorul viteză. Unităţi de viteză. *d.* Vectorul acceleraţie. Unităţi de acceleraţie. Clasificarea mişcărilor.
2. *Mişcarea rectilinie*: *a.* Mişcare rectilinie uniform variată. Legile acestei mişcări. Cazuri particulare. *b.* Căderea liberă a corpurilor. *c.* Compunerea mişcărilor. Aruncările corpurilor: vertical şi oblic.
3. *Mişcare curbilinie*: *a.* Mişcare curbilinie. Vectorul viteză tangenţială. *b.* Mişcare circulară uniformă. Vectorul viteză unghiulară. Legile mişcării circulare uniforme. Elementele mişcării circulare uniforme. *c.* Acceleraţia în mişcarea circulară uniformă. *d.* Mişcare circulară uniform variată. *e.* Corespondenţă analogică între mişcarea circulară şi cea rectilinie.
B. *Solidul rigid*: *a.* Modelul solidului rigid. *b.* Mişcarea de translaţie. *c.* Mişcarea de rotaţie.

III. **Dinamica şi statica**

Legile dinamicii . . . . . *12 ore*

4. *Inerţia*: *a.* Obiectul dinamicii. *b.* Legea inerţiei. Sistem de referinţă inerţial. Principiul relativităţii clasice. *c.* Masa — măsură a inerţiei. Unităţi de masă. Densitatea.
5. *Interacţiunea*; *a.* Impuls. *b.* Interacţiune şi transmiterea ei. Cîmp fizic. Linii de cîmp. Forţă. *c.* Efectele forţei. *d.* Variaţia impulsului. *e.* Legea acţiunii forţei. Unităţi de forţă. *f.* Legea acţiunilor reciproce. *g.* Principiul independenţei acţiunii forţelor simultane.

6. Impulsul şi conservarea lui . . . . . *6 ore*

a. Impulsul unui sistem fizic. *b.* Forţe interioare şi forţe exterioare unui sistem fizic. Legea conservării impulsului. *c.* Aplicaţii ale legii conservării impulsului: ciocniri neelastice, mişcare reactivă.

7. **Forţe** . . . . . *8 ore*

a. Forţă de greutate; greutate specifică. *b.* Cîmp gravitaţional. Intensitatea într-un punct al cîmpului gravitaţional. *c.* Forţă de tracţiune. *d.* Forţă de frecare. Legile frecării de alunecare.

* Discuţii şi propuneri se primesc pe adresa redacţiei în termen de 1 lună de la apariţia Revistei.

Frecarea în natură și în tehnică. *e.* Forță de inerție. Sistem de referință neinerțial. *f.* Tensiune în fire și în bare. *g.* Presiune; unități de presiune. *h.* Forță elastică. Legea lui Hooke. Deformare elastică. *i.* Măsurarea forțelor și a maselor.

8. **Forțe concurente** . . . . . *6 ore*

a. Compunerea a două forțe concurente; rezultantă, componente. Cazuri particulare. *b.* Compunerea mai multor forțe concurente coplanare. *c.* Descompunerea unei forțe în două componente concurente. *d.* Echilibrul unui solid sub acțiunea unui sistem de forțe concurente.

9. **Momentul forței** . . . . . *8 ore*

a. Momentul unei forțe în raport cu un punct (mărime vectorială). *b.* Forțe paralele. Compunerea lor. Construcția grafică a rezultantei forțelor paralele. *c.* Momentul rezultant al unui sistem de forțe coplanare. *d.* Descompunerea unei forțe în două componente paralele. *e.* Cuplu de forțe. Momentul cuplului. *f.* Echilibrul unui solid sub acțiunea unui sistem de forțe coplanare. *g.* Centrul de greutate. Echilibrul corpurilor cu legături.

10. **Energie mecanică** . . . . . *9 ore*

a. Energie mecanică (cinetică, potențială și de deformare) a unui sistem fizic. *b.* Variația energiei unui sistem fizic. *c.* Lucrul mecanic ca măsură a variației de energie a unui sistem fizic. Unități de lucru mecanic. Mărime de proces. *d.* Reprezentarea grafică a lucrului mecanic. *e.* Putere mecanică. Unități de putere. *f.* Energia potențială a unui sistem fizic aflat în cîmpul gravitațional. Aplicații. *g.* Energia potențială de deformație. *h.* Legea variației energiei cinetice. *i.* Legea transformării și conservării energiei în procesele mecanice. *j.* Randamentul unei mașini. Aplicații la mașinile simple. *k.* Ciocniri elastice.

11. **Dinamica mișcării circulare și de rotație** . . . *11 ore*

a. Dinamica mișcării circulare. Forță centripetă; forță centrifugă. *b.* Aplicații ale forței de inerție centrifugă. Reglarea automată, componentă a automatizării. *c.* Energia cinetică a punctului material în mișcare circulară. *d.* Moment cinetic al punctului material aflat în mișcare circulară. *e.* Energia cinetică a solidului în rotație. Moment de inerție — măsură a inerției la rotație. *f.* Legea fundamentală a dinamicii la rotația solidului. *g.* Momentul cinetic al solidului în rotație. *h.* Legea conservării momentului cinetic. *i.* Aplicații: volant. *j.* Corespondențe analogice între mișcarea punctului material și rotația solidului.

IV. **Gravitația universală** . . . . . *7 ore*

a. Evoluția istorică a cunoștințelor despre univers. Concepția heliocentrică. *b.* Legile lui Kepler. *c.* Legea gravitației universale. Constanta gravitației universale. Masa Pămîntului. *d.* Variația accelerației gravitaționale terestre. *e.* Lucrul mecanic în cîmpul gravitațional între două puncte *f.* Potențialul într-un punct al cîmpului gravitațional. *g.* Sateliții artificiali. Imponderabilitate. Viteze cosmice.

Lucrări de laborator . . . . . *20 ore*

Mărime fizică. Măsurare. Erori de măsură.

1. Verificarea legilor mișcării uniforme.
2. Verificarea legilor mișcării uniform variate.
3. Verificarea legilor căderii corpurilor.
4. Studiul legilor dinamicii.
5. Verificarea legii lui Hooke.
6. Studiul balanței. Cîntărirea corpurilor.
7. Determinarea densității la solide.
8. Determinarea densității la lichide.
9. Studiul frecării de alunecare.
10. Compunerea forțelor concurente.
11. Compunerea forțelor paralele.
12. Studiul planului înclinat.
13. Determinarea randamentului la pîrghie.
14. Determinarea randamentului la planul înclinat.
15 Determinarea randamentului la troliu.
16. Studiul echilibrului corpurilor. Determinarea centrului de greutate.

17. Studiul aruncărilor corpurilor.
18. Studiul mişcării circulare şi al forţei centrifuge.
19. Determinarea momentului de inerţie.

ANUL II Secţia reală

(4 ore săptămînal . . . . 128 ore anual)

Repartizarea orelor

Predare	*88 ore*
Lucrări de laborator	*20 ore*
Teze şi pregătirea lor	*9 ore*
Recapitulare şi ore la dispoziţia profesorului	*11 ore*
Total	*128 ore*

I. **Elemente de mecanica fluidelor** . . . . . *11 ore*

1. *Proprietăţi generale*: *a.* Hidro şi aeromecanica. Fluide. *b.* Lichid ideal (perfect); lichide reale. *c.* Transmiterea presiunii prin fluide. Legea Pascal. Presa hidraulică. *d.* Presiune hidrostatică

2. *Curgerea fluidelor*: *a.* Curgere staţionară. Curgerea lichidului ideal. *b.* Debite. Legea Bernoulli. *c.* Legea Bernoulli aplicată la conducte orizontale *d.* Consecinţe hidrostatice ale legii Bernoulli: principiul fundamental al hidrostaticii; legea vaselor comunicante; legea lui Arhimede, relaţia dintre forţa arhimedică şi greutatea corpului cufundat.

3. *Curgerea fluidelor reale. a.* Curgerea laminară; curgere turbulentă. *b.* Rezistenţa corpurilor mobile în fluide reale. Profil aerodinamic. *c.* Aplicaţii: paraşute, portanţa, zborul avionului *d.* Energia hidraulică. Centrale hidroelectrice.

FIZICA MOLECULARĂ

II. **Structura corpusculară a substanţei** . . . . . *8 ore*

4. *Dovezi experimentale privind structura corpusculară a substanţei*: Particule de substanţă (atomi şi molecule); Legea lui Dalton; Fotografierea particulelor de substanţă; Dimensiuni moleculare şi atomice.

5. *Dovezi experimentale despre mişcarea particulelor de substanţă.* Difuziune. Mişcare browniană. Mişcare dezordonată (termică). Masă atomică şi masă moleculară. Cantitate de substanţă. Kilomol.

6. *Mişcare dezordonată.* Caracteristici ale mişcării dezordonate. Vitezele particulelor în mişcare dezordonată. Metode statistice. Interacţiuni ale particulelor de substanţă.

Demonstraţii:
— experienţe de coeziune şi adeziune
— experienţe de difuzie
— mişcarea browniană.

III. **Studiul gazelor** . . . . . *10 ore*

7. *Teoria gazului ideal.* Teoria cinetico-moleculară. Interpretarea presiunii şi a temperaturii. Zero absolut. Scara temperaturilor absolute. Modelul gazului ideal. Deducerea formulei fundamentale a gazului ideal.

8. *Transformări de stare ale gazului ideal.* Stare de echilibru. Parametri de stare. Legea generală a transformării gazului ideal, dedusă din formula fundamentală a teoriei cinetice. Stare normală fizică. Ecuaţia de stare termică a unui gaz. Densitatea gazelor. Transformări particulare ale gazului ideal (izotermă, izobară, izocoră). Confirmări experimentale.

9. *Legea Van der Waals.* Gaze reale. Legea Van der Waals.

Demonstraţii:
— relaţia dintre p şi V sub temperatură constantă
— dilataţia gazelor.

IV. **Studiul corpurilor lichide** . . . . . *4 ore*

10. *Pătura superficială.* Structura lichidelor. Pătură superficială. Presiune moleculară (internă). Tensiune superficială. Coeficient de tensiune superficială.

11. *Meniscuri.* Forţe moleculare la contactul dintre un lichid şi un solid sau dintre două lichide nemiscibile. Meniscuri (concave şi convexe). Forţă Laplace. Presiunea sub suprafeţe libere curbe. Capilaritate. Legea lui Jurin. Aplicaţii ale capilarităţii: flotaţie, cavitaţie etc.

Demonstraţii: Experienţe de tensiune superficială şi capilaritate.

V. *Studiul corpurilor solide* . . . . . *2 ore*

12. *Substanţe cristaline şi amorfe.* Substanţă cristalină. Modelul reţelei cristaline ideale. Substanţă amorfă.

ELEMENTE DE TERMODINAMICĂ

VI. **Energia internă şi variaţia ei** . . . . . *9 ore*

13. *Energia internă* Energia internă şi transferul de energie internă între corpuri. Lucrul mecanic — mod de transfer al energiei prin mişcare ordonată. Căldură — mod de transfer al energiei prin mişcare dezordonată.

14. *Variaţia energiei interne: măsurarea ei* (Calorimetria). Variaţia energiei interne fără efectuare de lucru mecanic; cantitate de căldură. Cantitate de căldură sensibilă (variaţie a formei cinetice a energiei interne) şi latentă (variaţie a formei potenţiale a energiei interne). Unitatea de cantitate de căldură; Joule. Unitatea tolerată. Relaţia dintre cele două unităţi. Formula cantităţii de căldură. Căldura specifică.

15. *Măsurători calorimetrice.* Principiile calorimetriei. Ecuaţia calorimetrică. Calorimetrul. Măsurarea cantităţii de căldură. Cantitatea de căldură dezvoltată prin arderea unui combustibil. Putere calorică. Randamentul unei instalaţii termice.

Demonstraţii: Experienţe asupra căldurii specifice şi a randamentului termic.

VII. **Principiile termodinamicii şi aplicaţiile lor** . . . . . *13 ore*

16. *Primul principiu al termodinamicii. a.* Sistem termodinamic. Echilibrul sistemelor. *b.* Transformarea reciprocă dintre mişcarea mecanică şi mişcarea termică. *c.* Primul principiu al termodinamicii. Lucrul mecanic produs prin destinderea gazelor şi reprezentarea lui grafică în procese izobare, izoterme, adiabatice. *d.* Aplicarea primului principiu la transformări izocore, izoterme, adiabatice, ciclice. *e.* Legea transformării şi conservării energiei în procesele mecanice şi termice.

17. *Al doilea principiu al termodinamicii. a.* Principiul motorului termic. Randamentul motoarelor temice. Ciclul Carnot (ciclu ideal). *b.* Principiul al doilea al termodinamicii. *c.* Perpetuum mobile. Reversibilitate, ireversibilitate, dezordine (entropie).

18. *Aplicaţii la motoare termice.* Clasificarea motoarelor termice. Turbine cu aburi. Producerea aburilor. Construcţia şi funcţionarea turbinelor cu aburi. Randamentul lor. Folosirea lor în industrie şi în centralele electrice. Termoficare. Turbine cu gaze. Motoare cu ardere internă (cu aprindere prin scînteie sau cu aprindere prin compresie). Folosirea lor în transporturi şi agricultură. Motoare cu reacţie. Rachete. Construirea şi folosirea motoarelor termice în ţara noastră.

Demonstraţii:
— demonstrarea forţei vaporilor;
— model de turbină;
— modele de motor cu ardere internă.

VIII. **Efecte caracterizate prin variaţia energiei interne** . . . . *9 ore*

19. *Dilataţia corpurilor solide. a*) Explicaţia cinetico-moleculară a dilataţiei termice. Dilataţia liniară; coeficient de dilataţie liniară. Forţele de dilataţie. *b*) Dilataţia volumică; coeficient de dilataţie volumică. Variaţia densităţii cu temperatura.

20. *Dilataţia corpurilor lichide. a*) Dilataţia lichidelor (aparentă şi reală). *b*) Coeficientul de dilataţie reală a lichidelor şi determinarea lui. *c*) Termometre. Temperaturi de referinţă.

21. *Aplicaţii ale dilataţiei corpurilor.* Lamă bimetalică; termostat. Reglare, autoreglare.

Demonstraţii:
— demonstrarea dilataţiei liniare, de volum;
— demonstrarea dilataţiei lichidelor; dilataţia apei.

22. *Transformarea reciprocă dintre starea solidă şi cea lichidă.* Topire şi solidificare. Explicarea cinetico-moleculară a topirii. Căldura latentă specifică de topire (solidificare). Variaţia volumului prin topire (solidificare).

Influenţa presiunii asupra temperaturii de topire (solidificare). Topirea şi solidificarea substanţelor cu impurităţi. Aplicaţii la turnarea metalelor.

23. *Transformarea din starea lichidă în cea gazoasă.* Vaporizarea. Explicarea ei cinetico-moleculară: vapori saturanţi şi vapori nesaturanţi. Proprietăţile vaporilor saturanţi. Proprietăţile vaporilor nesaturanţi. Vaporizarea în spaţiu nelimitat. Evaporarea. Fierberea. Influenţa presiunii asupra temperaturii de fierbere. Căldura latentă specifică de vaporizare.

24. *Transformarea din stare gazoasă în cea lichidă. a.* Condensare. Distilare. Schimbător de căldură. *b.* Lichefierea gazelor. Temperatură critică. *c.* Transportul, păstrarea şi utilizarea gazelor lichefiate. Frigotehnică. Instalaţii frigotehnice.

25. *Transformarea solid-gaz*: sublimare; desublimare.

Demonstraţii: experienţe de topire, evaporare, fierbere, Franklin.

IX. Mișcări oscilatorii . . . . . *8 ore*

26. *Oscilații armonice.* Oscilația unui resort, a unui pendul, mărimi caracteristice : elongație (amplitudine), perioadă (frecvență), fază. Modelul oscilației armonice. Oscilație armonică, proiecție pe un diametru a mișcării circulare uniforme. Ecuațiile oscilației armonice. Reprezentarea oscilației armonice : analitic, grafic, prin fazori. Forțe în mișcarea oscilatorie $F = -ky$. Perioada oscilației armonice. Perioadă (frecvență) proprie ; oscilații libere. Perioada pendulului. Energia oscilatorului. Oscilație neamortizată ; oscilație amortizată. Oscilația ca variație periodică în timp a valorii unei mărimi fizice. Valoarea de model a oscilației armonice.

27. *Oscilații forțate* : oscilații proprii. Cuplaj. Rezonanță. Condiția de rezonanță. Aplicații.

X. Unde mecanice . . . . . *8 ore*

28. *Producerea și propagarea undelor mecanice.* Propagarea oscilațiilor într-un mediu elastic, undă. Unde longitudinale. Unde transversale. Mecanismul producerii lor. Viteza de propagare a undelor. Defazaj. Suprafața de undă ; rază. Unde sferice, unde plane. Principiul lui Huygens. Lungime de undă. Relația dintre mărimea care caracterizează periodicitatea în timp T a undei și cea care caracterizează periodicitatea ei în spațiu λ. Ecuația undei plane.

29. *Fenomene de propagare a undelor.* Reflexia și refracția undelor. Legile lor. Difracția și interferența undelor. Unda staționară.

XI. Acustica . . . . . *6 ore*

30. *Sunetul și proprietățile lui.* Natura fizică a sunetului. Viteza de propagare a undelor sonore. Caracteristicile fiziologice ale undelor sonore și corespondențele lor fizice ; înălțime frecvență ; intensitate-amplitudine (energie). Reflexia undelor sonore. Ecou, reverberație. Acustica sălilor.

31. *Ultrasunetele.* Producerea și proprietățile lor. Aplicații tehnice ale ultrasunetelor.

Demonstrații :

— Oscilațiile unui resort sau ale unei lame elastice ;
— Oscilațiile pendulului și verificarea legilor lui ;
— Rezonanța mecanică a pendulelor ;
— Unde transversale și longitudinale ;
— Interferența undelor pe suprafața lichidelor ;
— Reflexia undelor ;
— Reflexia sunetului ;
— Rezonanța.

Lucrări de laborator . . . . . *20 ore*

1. Determinarea densității solidelor pe baza legii Arhimede.
2. Determinarea densității lichidelor pe baza legii Arhimede.
3. Studiul presiunii atmosferice.
4. Studiul baroscopului.
5. Studiul acțiunii laterale a unui curent de fluid.
6. Determinarea căldurii specifice a unei substanțe solide.
7. Determinarea căldurii specifice a unei substanțe lichide.
8. Determinarea randamentului unui încălzitor.
9. Verificarea legii Boyle-Mariotte.
10. Verificarea legii Gay-Lussac.
11. Determinarea coeficientului de tensiune superficială.
12. Verificarea legii lui Jurin.
13. Determinarea căldurii latente specifice de topire.
14. Determinarea punctului de topire a unei substanțe.
15. Determinarea căldurii latente specifice de vaporizare.
16. Verificarea legilor pendulului și determinarea lui *g*.
17. Determinarea frecvenței unui sunet prin metoda rezonanței.
18. Determinarea vitezei undelor sonore prin metoda Kundt.

ANUL III Secţia reală

(4 ore săptămînal — 128 ore anual)

Repartizarea orelor

Predare	*87 ore*
Lucrări de laborator	*20 ore*
Teze şi pregătirea lor	*9 ore*
Recapitulare şi ore la dispoziţia profesorului	*12 ore*
Total:	*128 ore*

ELECTRICITATE

I. Cîmp electrostatic . . . . . *15 ore*

1. *Corpuri electrizate şi interacţiunea lor* Sarcina electrică; separarea sarcinilor electrice prin contact. Sarcină electrică elementară; electronul. Unitatea de sarcină electrică (prin număr de electroni). Interacţiuni între corpuri încărcate electric; influenţă electrică. Electroscop. Cîmp electrostatic. Structura cîmpului electrostatic; linii de cîmp şi sensul lor, sursele cîmpului electrostatic (sarcina electrică). Cîmp uniform. Cîmpul electrostatic este o formă structurală a materiei. Mărimi care descriu cantitativ cîmpul electrostatic; intensitatea cîmpului (mărime vectorială), unitatea ei de măsură.

2. *Cîmp electrostatic generat de sarcini punctuale.* Legea lui Coulomb (deducerea ei pe baza cîmpului electrostatic). Intensitatea într-un punct al cîmpului electrostatic generat de mai multe sarcini punctuale.

3. *Potenţial electric.* Lucrul mecanic la deplasarea în cîmpul electrostatic a unui corp încărcat. Cîmpul electrostatic e cîmp potenţial. Potenţialul cîmpului, altă mărime — scalară — care descrie cantitativ cîmpul electrostatic. Unitatea de potenţial. Tensiunea electrică. Legătura dintre potenţial şi intensitatea cîmpului.

4. *Energia cîmpului electrostatic.* Condensatorul plan; cîmpul uniform dintre armături. Capacitatea condensatorului. Factorii de care depinde. Unitatea de capacitate. Energia condensatorului. Permitivitatea relativă. Permitivitatea vidului. Tipuri de condensatoare. Legarea lor în paralel.

5. *Conductoare în cîmp electrostatic.* Influenţa electrică. Echilibru electrostatic. Curent electronic.

6. *Izolatoare în cîmp electrostatic.* Polarizarea dielectricilor polari şi a celor apolari. Electreţi.

7. *Mişcări ale purtătorilor de sarcini în cîmpul electrostatic.* Accelerarea purtătorilor de sarcini; accelerator liniar. Frînarea purtătorilor de sarcini. Mişcarea purtătorilor de sarcini în cîmp uniform, transversal. Sarcina electronului.

II. Electrocinetică . . . . . *17 ore*

8. *Curent electric continuu constant.* Curent electric de conducţie. Condiţiile existenţei lui. (purtători de sarcină microscopică, cîmp pentru a-i dirija). Generator electric; cîmp electromotor imprimat ori indus. Tensiune electromotoare. Circuit electric. Sensul curentului electric. Intensitatea curentului electric. Exprimarea ei în mărimi microscopice. Unitatea ei. Ampermetru Conservarea sarcinii electrice.

9. *Legea lui Ohm.* Tensiunea electrică între două puncte ale circuitului. Voltmetru. Demonstrarea teoretică a legii lui Ohm. Rezistenţa electrică. Verificarea experimentală a legii lui Ohm. Unitatea de rezistenţă electrică. Dependenţa rezistenţei de dimensiunile şi de natura conductorului. Dependenţa rezistivităţii de temperatură. Supraconductibilitate. Cădere de tensiune pe o porţiune de circuit. Legea lui Ohm pe circuitul întreg.

10. *Curenţi ramificaţi.* Reţele electrice. Prima teoremă a lui Kirchhoff. A doua teoremă a lui Kirchhoff. Aplicaţii ale teoremelor lui Kirchhoff. Rezistenţa echivalentă a rezistoarelor grupate în serie sau în paralel; Gruparea generatoarelor electrice; în serie, în paralel; Şuntul ampermetrului şi rezistenţa adiţională a voltmetrului; Divizorul de tensiune (potenţiometru); Măsurarea rezistenţelor: metoda volt-ampermetrului; puntea Wheatstone; erori de măsură.

11. *Energia electrică.* Energia şi puterea electrică dezvoltate într-un circuit electric. Unităţi de măsură. Efectul electrocaloric. Legea lui Joule. Randamentul transportului de energie pe linie Aplicaţii ale efectului electrocaloric (altele decît cele studiate anterior); termostate, autoreglare.

12. *Tensiune termoelectrică.* Tensiune de contact. Tensiune termoelectrică. Termocuplu. Aplicaţii ale lui. Pilă termoelectrică. *Efect Peltier.*

III. Curent electric în electroliţi . . . . . *4 ore*

13. *Electroliza şi legile ei.* Electroliză. Electroliză cu anod solubil. Legile electrolizei. Numărul lui Faraday

14. *Sarcina electrică elementară.* Structura corpusculară a sarcinii electrice. Electronul.

Demonstrații :

— Producerea curentului electric
— Demonstrarea efectelor curentului electric
— Măsurarea intensității în diverse puncte ale circuitului
— Măsurarea tensiunii între două puncte ale circuitului
— Dependența rezistenței de dimensiunile și de natura conductoarelor
— Dependența rezistenței conductoarelor de temperatură
— Legea lui Ohm pentru o porțiune de circuit și pentru întreg circuitul
— Legarea în serie și în paralel a conductoarelor
— Folosirea reostatelor și șunturilor
— Gruparea în serie a surselor de curent
— Demonstrarea efectului termic al curentului și dependența cantității de căldură de intensitate, de rezistență și de timp.
— Cuplul termoelectric
— Electroliza apei acidulate

IV. Cîmp magnetic constant și acțiuni ale lui . . . *16 ore*

15. *Cîmp magnetic constant.* Cîmpul magnetic constant și structura lui. Linii de cîmp magnetic, spectru magnetic. Forța electromagnetică. Inducție magnetică. Flux de inducție magnetică. Unitatea de flux magnetic ; unitatea de inducție magnetică. Inducția magnetică a cîmpului din interiorul unui solenoid parcurs de curent electric. Permeabilitatea magnetică ; permeabilitatea relativă ; permeabilitatea vidului. Intensitatea cîmpului magnetic. Circuit rectiliniu, circular, bobină, cadru multiplicator, parcurse de curent electric. Legea Biot-Savart. Acțiunea reciprocă a două conductoare parcurse de curent electric ; aplicații. Etalonul pentru unitatea de intensitate a curentului electric. Calculul constantei magnetice.

16. *Acțiunea cîmpului magnetic asupra particulelor electrizate aflate în mișcare.* Forță Lorentz. Expresia ei vectorială. Aplicații ale forței Lorentz ; determinarea sarcinii specifice a unei particule electrizate ; generator magnetohidrodinamic. Spectrograf de masă. Ciclotron.

17. *Interacțiunea dintre cîmpul magnetic și substanță.* Magnetizarea substanțelor para, dia și feromagnetice. Explicarea magnetismului. Memoria magnetică.

18. *Aplicații ale fenomenelor electromagnetice.* Electromagnet polarizat ; difuzor permanent dinamic ; aparate electrice de măsurat ; ampermetru ; voltmetru ; releu electromagnetic. Noțiuni de automatizare.

Demonstrații :

— Acțiunea cîmpului magnetic asupra curentului electric mobil ;
— Cîmpul magnetic al curentului liniar, al celui circular și al solenoidului ;
— Acțiunea reciprocă a curenților electrici
— Experiențe cu electromagneți ;
— Construcția și funcționarea aparatelor de măsură : ampermetre și voltmetre

V. Cîmp magnetic variabil . . . . . . *17 ore*

A. *Inducție electromagnetică*

19. *Tensiunea indusă și legile ei.* Inducția electromagnetică. Mărimea tensiunii induse. Sensul tensiunii induse. Unitatea de flux magnetic .Tensiune indusă într-un conductor liniar aflat în mișcare în cîmpul magnetic. Explicarea electronică a acestui fenomen. Generalizarea fenomenului de inducție electromagnetică ; prin inducție electromagnetică apare tensiune electrică ; prin variația cîmpului magnetic apare cîmp electric variabil. Cîmp electrodinamic.

20. *Autoinducție.* Producerea fenomenului de autoinducție. Inductanța unui circuit. Unitatea de inductanță. Legea autoinducției. Rolul autoinducției în tehnică.

Demonstrații :

— Producerea curenților de inducție cu ajutorul magneților și al curentului electric. Determinarea factorilor de care depinde tensiunea electromotoare de inducție.
— Experiențe de autoinducție.

B. *Curent alternativ* (sinusoidal)

21. *Tensiuni alternative.* Curentul alternativ sinusoidal. Caracteristicile mărimilor alternative sinusoidale ; amplitudine, elongație, perioadă, frecvență, fază, pulsație. Efectele curentului alternativ. Valori instantanee, maxime și efective ale curentului alternativ.
Moduri de reprezentare a mărimilor alternative : analitic, grafic, prin fazori.

2. *Circuite de curent alternativ.* Rezistor în curent alternativ. Bobină în curent alternativ. Condensator în curent alternativ. Circuit serie cu R, L și C în curent alternativ. Circuit paralel cu R, L și C în curent alternativ. Puterea în curentul alternativ monofazat. Rezonanța electrică ; serie și paralel.

Demonstrații :

— Model de spiră pentru curentul alternativ
— Experiențe referitoare la circuitul de curent alternativ cu inductanță și cu capacitate
— Aparate de măsură pentru curentul alternativ
— Experiențe referitoare la rezonanța electrică

VI. **Cîmp electromagnetic** . . . . . *10 ore*

23. *Oscilații electromagnetice.* Circuit oscilant. Producerea oscilației și explicarea ei. Oscilația cîmpului electric și a celui magnetic ; oscilația energiei electromagnetice.
Perioada proprie a circuitului oscilant. Formula lui Thomson. Oscilații neamortizate și oscilații amortizate. Întreținerea oscilațiilor. Rezonanța circuitelor oscilante.

24. *Unde electromagnetice.* Trecerea de la circuitul oscilant închis la circuit oscilant deschis Cîmp electromagnetic. Undă electromagnetică. Dipol electric. Antenă. Proprietățile undelor electromagnetice. Gama undelor electromagnetice.

Demonstrații :

— Producerea oscilațiilor electrice cu perioadă mare
— Rezonanța circuitelor oscilante
— Producerea microundelor

VII. **Generatoare, motoare, transformatoare** . . . *8 ore*

25. *Mașini electrice rotative.* Clasificarea mașinilor electrice rotative. Principiul mașinilor electrice rotative. Principiul de funcționare al generatoarelor de curent alternativ monofazat și trifazat. Reversibilitatea mașinilor electrice rotative : motor sincron, motor asincron. Principiul de funcționare al generatorului de curent continuu. Motor de curent continuu.

26. *Transformatoare.* Principiul de funcționare al transformatoarelor. Aplicații ale transformatorului ; bobina de inducție ; telefonul (semnal și informație, mesaj).

27. *Electrificare* Bazele fizice ale electrificării. Electrificarea țării noastre. Sistemul electroenergetic național.

Demonstrații :

— Modele de spire pentru curentul continuu și pentru curentul alternativ
— Prezentarea modelelor de mașini și motoare electrice (truse I.M.D.). Experiențe.
— Transformarea curentului. Transformatorul școlar.
— Bobina de inducție Ruhmkorff. Experiențe cu această bobină.
— Telefonul școlar.

Lucrări de laborator . . . . . *20 ore*

Erori de măsură. Precizia unei măsurători.

1. Studiul condensatorului electric
2. Studiul circuitului electric
3. Verificarea legii lui Ohm
4. Determinarea t.e.m. a unui generator electric (în circuit deschis și în circuit închis)
5. Variația rezistenței electrice cu lungimea, secțiunea și natura conductorului.
6. Studiul legării în paralel și în serie a rezistoarelor.
7. Determinarea rezistenței electrice cu ajutorul punții cu fir.
8. Verificarea legii Joule.
9. Determinarea randamentului unui fierbător electric.
10. Studiul contorului electric. Măsurarea energiei electrice.
11. Lucrare de galvanotehnică.
12. Studiul forței electromagnetice.
13. Acțiunea reciprocă a conductoarelor parcurse de curent electric.
14. Studiul cîmpului magnetic al curentului electric.
15. Studiul inducției electromagnetice.
16. Studiul circuitelor de curent alternativ.
17. Determinarea inductanței unei bobine.
18. Studiul curenților Foucault
19. Studiul transformatorului electric

ANUL IV Secția reală

(3 ore săptămînal = 93 ore anual)

Repartizarea orelor

Predare	*65 ore*
Lucrări de laborator	*10 ore*
Teze și pregătirea lor	*3 ore*
Teme de sinteză	*8 ore*
Recapitulare și ore la dispoziția profesorului	*7 ore*
Total	*93 ore*

NOȚIUNI DE ELECTRONICĂ ȘI APLICAȚII

I. Curent electric în gaze . . . . . *4 ore*

1. *Ionizarea gazelor.* Mecanisme de ionizare a gazelor. Energie de ionizare.

2. *Procese fundamentale la trecerea curentului electric prin gaze.* Descărcarea întreținută și descărcarea independentă. Avalanșe electronice. Fenomene luminoase care însoțesc descărcările în gaze.

3. *Descărcarea luminiscentă.* Descrierea și explicarea descărcării luminiscente. Aplicații ale ei; tuburi fluorescente; reclame luminoase. Radiații catodice; radiații canal.

4. *Arcul electric* Producerea arcului electric. Aplicații ale arcului electric.

5. *Noțiuni de fizica plasmei.* Natura fizică și proprietățile plasmei. Aplicații ale plasmei.

Demonstrații:

— Arcul electric

— Descărcări în gaze rarefiate.

II. Tuburi electronice . . . . . *5 ore*

6. *Dioda.* Emisia termoelectronică. Dioda. Dioda ca redresor și detector.

7. *Trioda.* Construcția și funcționarea triodei. Caracteristica de grilă și parametrii triodei. Trioda ca întreținătoare de oscilații. Trioda ca amplificatoare.

8. *Osciloscopul catodic.* Construcția și funcționarea osciloscopului catodic. Aplicații ale osciloscopului catodic.

III. Curent electric în semiconductoare . . . . . *6 ore*

9. *Semiconductoare.* Conductor, izolator, semiconductor, cristal de germaniu. Semiconductoare cu impurități. Termistor (traductor).

10. *Diode semiconductoare.* Joncțiunea p-n. Trecerea curentului prin joncțiunea p-n. Comparația cu dioda. Dioda semiconductoare și aplicațiile ei.

11. *Tranzistorul.* Structura și funcționarea unui tranzistor. Compararea lui cu trioda. Caracteristica tranzistorului și funcția lui de amplificare. Tranzistoarele în tehnică.

IV. Aplicații ale dispozitivelor electronice . . . . . *17 ore*

12. *Radioemisia.* Radiocomunicații. Emițător simplu. Modulația undei purtătoare. Schema bloc a unui radioemițător. Semnal, modulația semnalului, informație, transmiterea informației. Banda de frecvență a undelor modulate.

13. *Radiorecepție.* Problemele radiorecepției. Demodulația. Construcția și funcționarea unui radioreceptor simplu. Radiorecepție cu triode sau cu tranzistoare. Radioreceptor superheterodină.

14. *Noțiuni de mașini electronice de calcul.*

Demonstrații:

— Experiențe cu aparatul de radioemisie și radiorecepție tip I.M.D.

— Experiențe realizate cu trusa electronică

— Experiențe realizate cu aparatul I.M.D. de recepție cu tranzistori.

OPTICA

V. Optica razelor de lumină . . . . . *8 ore*

15. *Generalități despre lumină.* Teoria electromagnetică a luminii. Viteza luminii. Principiul lui Huygens. Propagarea rectilinie a luminii. Rază de lumină.

16. *Legi fundamentale în optica geometrică.* Reflexia luminii, legile ei. Refracția luminii, legile ei. Reversibilitatea mersului razelor de lumină. Indici de refracție. Drum optic. Reflexie totală. Prismă optică.

17. *Lentile.* Formula lentilelor. Discuţia ei. Convergenţa lentilelor în funcţie de natura substanţei şi de geometria feţelor. Asocierea lentilelor.

18. *Instrumente optice.* Lupă, microscop, proiecţie microscopică. Microscop electronic; microscop ionic.

Demonstraţii:

— Demonstraţii privitoare la reflexia luminii (disc Hartl oglinzi).
— Verificarea legilor refracţiei cu ajutorul discului Hartl.
— Refracţia în prismă (disc Hartl)
— Imagini date de lentile.
— Prezentarea microscopului.

VI. **Optica undelor de lumină** . . . . . *5 ore*

19. *Interferenţa luminii.* Unde luminoase coerente. Interferenţa undelor luminoase. Dispozitivul Young. Interferenţa prin lame subţiri. Aplicaţii ale interferenţei.

20. *Difracţia luminii.* Difracţia printr-o fantă îngustă. Reţele de difracţie. Aplicaţii ale lor. Modelul ondulatoriu al structurii luminii.

VII. **Interacţiunea radiaţiilor cu substanţa** . . . . . *7 ore*

21. *Spectre şi analiza spectrală.* Spectre: aparatură de spectroscopie. Tipuri de spectre; spectre de absorbţie. Analiză spectrală.

22. *Radiaţii invizibile.* Radiaţii infraroşii; aplicaţii. Radiaţii ultraviolete; aplicaţii. Radiaţii Roentgen; aplicaţii.

23. *Emisie fotoelectronică.* Legile fenomenului fotoelectric; explicarea lor. Cuantă de energie; foton. Optica fotonică. Lumina ca fenomen ondulatoriu şi corpuscular; Structura dublă a luminii.

24. *Aplicaţiile fenomenului fotoelectric.* Celula fotoelectrică; aplicaţiile ei. Releu fotoelectric. Principiile televiziunii.

25. *Fenomenul fotoelectric în semiconductoare.* Efect fotoelectric intern. Fotorezistenţa (traductor). Fotodiode.

Demonstraţii

— Producerea interferenţei cu dispozitivul Young.
— Difracţia prin reţele.
— Producerea şi cercetarea unor proprietăţi ale radiaţiilor Roentgen.
— Producerea spectrului cu ajutorul prismei.
— Prezentarea spectroscopului, producerea şi observarea unor spectre de emisie.
— Prezentarea şi arătarea principiului de funcţionare a unui releu cu celulă fotoelectrică.
— Demonstrarea funcţionării unei fotorezistenţe.

VIII. **Noţiuni de teoria relativităţii** . . . . . *4 ore*

26. *Principiul relativităţii.* Principiul relativităţii în mecanica clasică. Invarianţa vitezei luminii. Principiul relativităţii restrînse.

27. *Elemente de dinamică relativistă.* Variaţia relativistă a masei cu viteza. Relaţia reciprocă dintre masă şi energie.

NOŢIUNI DE FIZICĂ ATOMICĂ ŞI NUCLEARĂ

IX. **Atomul** . . . . . *8 ore*

28. *Structura atomului.* Izotopi. Număr atomic. Nuclid. Masă atomică. Număr de masă. Unitate atomică de masă.

29. *Electronul.* Apariţia noţiunii de electron în fizică. Sarcina electrică elementară. Sarcină specifică şi masa electronului. Variaţia masei electronului cu viteza.

30. *Modele atomice.* Modelul atomic al lui Rutherford. Deficienţele lui. Postulatele lui Bohr. Confirmarea lor. Modelul atomic al lui Bohr. Explicarea seriilor spectrale.

31. *Dezvoltarea teoriei lui Bohr.* Proprietăţile ondulatorii ale particulelor. Difracţia electronilor. Reguli de cuantificare. Nor electronic. Numere cuantice. Spinul electronului. Pături electronice. Nivele energetice ale electronului în atomul cu mai mulţi electroni. Structura electronică a atomilor şi sistemul periodic al elementelor.

32. *Amplificatori şi generatori cuantici.* Emisia şi absorbţia radiaţiilor electromagnetice în sistemele atomice. Generatori cuantici. Tipuri de laseri. Aplicaţiile actuale şi de perspectivă ale amplificatorilor şi generatorilor cuantici.

X. Nucleul atomic . . . . . *11 ore*

33. *Radioactivitatea spontană* (naturală). Descoperirea radioactivității. Tipuri de radiații radioactive. Legile deplasării. Emisia radiațiilor. Legea dezintegrării radioactive. Timp de înjumătățire. Serii și elemente radioactive.

34. *Mijloace de detecție și măsurare în fizica nucleară.* Camera cu ceață. Camera cu bule. Emulsii nucleare. Contorul Geiger-Muller.

35. *Structura nucleului atomic.* Protonul, particulă nucleară. Neutronul. Nucleoni. Alcătuirea nucleului atomic.

36. *Reacții nucleare.* Acceleratori de particule încărcate. Tipuri de reacții nucleare. Exemple. Radioactivitatea provocată (artificială). Elemente transuraniene. Aplicațiile izotopilor radioactivi.

37. *Particule elementare.* Caracterizarea noțiunii de particulă elementară. Transformarea lor reciprocă. Particule și antiparticule. Radiații cosmice.

38. *Energia nucleului atomic.* Forțe nucleare. Energia de legătură. Defecte de masă. Energia medie de legătură pe nucleon. Modelul picătură.

7. *Eliberarea energiei nucleare.* Energia reacțiilor nucleare. Fisiunea nucleară. Reacții în lanț. Reactori nucleari. Centrale electronucleare. Fuziunea nucleară. Utilizarea energiei nucleare în scopuri pașnice.

Demonstrații :

— Modelul atomului de hidrogen
— Camera Wilson (model școlar)
— Numărătorul de particule (model școlar)

IX. Teme de sinteză . . . . . *8 ore*

1. Metode de cercetare în fizică.
2. Modele și modelare ; folosirea modelelor în fizică.
3. Comanda și reglarea, baze ale automatizării.
4. Legi de conservare în fizică. Sistem fizic : evoluția lui.
5. Fizică clasică și fizică modernă ; idei fundamentale care le caracterizează.
6. Cîmp și substanță, forme structurale ale materiei. Unitatea materială a lumii.
7. Particule și antiparticule ; materie și antimaterie.
8. Mari realizări ale fizicienilor români.

X. *Lucrări de laborator* . . . . . *10 ore*

1. Trasarea caracteristicii unei diode.
2. Trasarea caracteristicii de grilă a unei triode.
3. Trasarea caracteristicii unei diode cu cristal
4. Trasarea caracteristicii unui tranzistor.
5. Studiul unui amplificator.
6. Determinarea distanței focale la lentile (convergente și divergente).
7. Determinarea indicelui de refracție.
8. Determinarea lungimii de undă cu rețeaua optică.
9. Trasarea curbei de dispersie a unui spectroscop.
10. Studiul celulei fotoelectrice ca releu fotoelectric.
11. Vizualizarea urmelor particulelor alfa cu ajutorul camerei cu ceață.

NICOLAE VASILESCU-KARPEN

Prof. dr. docent M. MARINESCU
membru corespondent al Academiei R.S.R.

La 9 octombrie 1970, Academia R.S. România, Ministerul Învățămîntului și Comisia Națională a R.S.R. pentru UNESCO, au organizat — în cadrul marilor aniversări culturale — o ședință comemorativă cu prilejul împlinirii a 100 de ani de la nașterea inginerului și fizicianului român Nicolae Vasilescu-Karpen.

Născut la Craiova la 28 noiembrie 1870, Nicolae Vasilescu-Karpen a făcut studiile superioare la vechea Şcoală de Poduri şi Şosele din Bucureşti, Şcoală care mai tîrziu în 1920 devine, prin străduinţa sa, Şcoala Politehnică, al cărei *rector* a fost timp de 20 de ani, pînă la retragerea sa, în 1940.

Tînăr inginer, diplomat al Şcolii de Poduri şi Şosele, N.V. Karpen, după ce a efectuat lucrări publice de şosele şi de căi ferate în ţară a plecat la Paris în 1899 pentru a se specializa în domeniul Electricităţii.

A urmat cursurile „Şcolii Superioare de Electricitate" obţinînd diploma acestei Şcoli în 1900. Simultan urmează şi cursurile de Fizică, Mecanică, Chimie şi Matematici ale Universităţii din Paris, obţinînd „Licenţa" în Ştiinţe în 1902 cu 4 Certificate, cu menţiunea „Très honorable".

În 1904 devine Doctor în Ştiinţe Fizice al Universităţii din Paris, cu teza „Cercetări asupra efectului magnetic al corpurilor electrizate în mişcare", teză care marchează o dată importantă în istoria Fizicii.Această teză a fost susţinută în faţa unui juriu, ai cărui membri au fost : G. Lippmann, H. Poincaré şi Moissan şi care, după expunerea tezei, au descins în laboratorul profesorului Lippmann, la Sorbona, unde V. Karpen le-a făcut demonstraţia experienţelor pe care şi-a întemeiat concluziile sale. Tot în această teză, V. Karpen a demonstrat imposibilitatea punerii în evidenţă a mişcării pămîntului prin experienţe de electromagnetism, anticipînd prin aceasta, în mod teoretic, rezultatele negative ale celebrelor experienţe ale lui Michelson. De asemenea V.Karpen a arătat că concepţia lui Faraday asupra materialităţii liniilor de forţă, nu corespunde realităţii şi deci trebuie abandonată.

Prin remarcabilele sale lucrări, numele tînărului inginer-fizician român, devine repede cunoscut în lumea savantă a epocii. Încă de la acea dată a legat o strînsă prietenie cu iluştri savanţi francezi G. Lippmann, Paul Janet, Jean Perrin, A. Cotton, Mascart, Paul Langevin, Blondel, savanţi cu care a întreţinut o corespondenţă ştiinţifică susţinută, care prezintă un deosebit interes pentru istoria dezvoltării Electricităţii şi Electrotehnicii.

Această corespondenţă reflectă în acelaşi timp stima şi încrederea pe care aceşti savanţi au acordat-o tînărului inginer român, stimă şi încredere care s-au tradus prin oferte foarte măgulitoare. Astfel i s-a încredinţat, în urma recomandării prof.Lippmann, ţinerea cursului de Electrotehnică la Facultatea de Ştiinţe din Lille, unde în anul 1902, a ţinut prelegeri foarte mult apreciate. În acelaşi an a fost ales membru al Societăţii de Fizică şi în 1904 membru al societăţii franceze a Electricienilor, iar mai tîrziu a fost numit „Membru de Onoare" al acestei societăţi, ceea ce constituie o înaltă distincţie, acordată, potrivit statutelor societăţii : „ca un omagiu atribuit persoanelor care au adus ştiinţei ,industriei sau societăţii servicii remarcabile". V. Karpen ţine în cadrul şedinţelor acestei Societăţi conferinţe ştiinţifice în care sînt expuse fenomene fizice noi sau teorii originale pentru a explica fenomene cunoscute dar greşit interpretate. Altfel în domeniul elasticităţii, el a dat pentru prima dată explicaţia aderenţei fierului la beton, în betonul armat. În domeniul aerodinamicii, explică pentru prima dată mecanismul zborului denumit zborul planat, al păsărilor şi al planoarelor.

În termodinamică, atomistică şi teoria cinetică : a determinat presiunea internă a lichidelor printr-o nouă metodă, corijînd astfel eroarea

semnalată de Regnault în măsurarea raporturilor căldurilor specifice, prin experiențele Clement-Desormes; a studiat difuziunea liberă sau în cîmp de forțe a moleculelor dizolvate în apă, a determinat coeficientul de difuziune și formula liberului parcurs al moleculelor, fără a face uz de ipoteza lui Van't-Hoff; a emis o nouă teorie a presiunii osmotice, mai apropiată de rezultatele experiențelor. A arătat că, contrar opiniei lui Van't-Hoff și Ramsay, devenită clasică, tensiunea superficială între lichid și vaporii săi este egală, nu cu diferența, ci cu suma tensiunilor celor 2 faze separate și că unghiul de contact nu este nul.

În electromagnetism și electrostatică, în afara rezultatelor obținute în Teza de doctorat, demonstrează inutilitatea noțiunii de „masă magnetică", noțiune introdusă pînă la acea dată în toate tratatele clasice și care a fost, ca urmare, eliminată din expunerea fenomenelor electromagnetice. A stabilit noi relații între energia cîmpurilor magnetice și electrice și între tensiunea și repulsia liniilor de forță ale acestor cîmpuri. Calculînd masa și energia acestora el a ajuns la celebra relație între aceste două entități, stabilită printr-o altă cale de Einstein; calculează de asemenea raportul între masa și energia electronului, demonstrînd că, contrar opiniei lui Max Born, masa electronului ar fi în întregime de natură electromagnetică.

El a propus pentru prima dată utilizarea curenților de înaltă frecvență în telefonia prin cablu la mare distanță; a enunțat un nou principiu asupra distribuției liniilor de inducție magnetică, care trebuie să fie astfel încît energia acestui cîmp să fie maximă. Acest principiu a fost extins mai tîrziu la toate cîmpurile magnetice și electrice. La aceeași epocă (1902) a stabilit cauza, pe atunci necunoscută, a reacției indusului, în mașinile electrice, confirmînd explicația prin experiențe. A demonstrat că, contrar teoriilor existente, transportul energiei electrice în lungul firelor, nu se efectuează prin mijlocirea cîmpurilor electrice și magnetice existente în jurul firelor, ci prin energia potențială a electronilor, a căror mișcare constituie curentul electric de-a lungul firelor. Rezultatele tuturor acestor lucrări și comunicări au făcut obiectul a nu mai puțin de 36 note publicate în „Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris" precum și a numeroase articole originale publicate în „Bull. Soc. fr. des Électriciens" „Annales de Physique et de Chimie" în „Journal de Physique" și în multe alte periodice străine.

Cu toate propunerile măgulitoare care i se fac de a rămîne și de a profesa în Franța, V. Karpen consideră ca o datorie de a pune capacitatea și cunoștințele căpătate, în serviciul țării sale. Revenit în țară ca profesor de Electrotehnică la prima catedră de specialitate, nou creată la vechea Școală de Poduri și Șosele, devenită în 1920, sub conducerea sa Școală Politehnică, el a format în timp de 35 de ani de profesorat, cadre de înaltă calificare, care au pus bazele dezvoltării industriei electrotehnice în România.

Cu toate aceste multiple sarcini de mare răspundere, ca profesor și organizator al învățămîntului tehnic superior în România el nu a părăsit frumoasa tradiție a cercetării științifice. Astfel, în liniștea laboratorului său, la Școala Politehnică, el s-a dedicat cu pasiune cercetărilor asupra generatorilor electrochimici, cercetări inițiate ca urmare a unei probleme — puse de vechiul său profesor Paul Janet — asupra coroziunii electrochimice a cablurilor subterane. Plecînd de la căutarea unei soluții de ordin practic a acestei probleme, el a elaborat o nouă teorie a pilelor electrice, bazată pe ipoteza unică a prezenței electronilor liberi în soluție, comple-

tînd teoriile lui Arrhenius şi Nernst, insuficiente pentru a explica toate fenomenele electrochimice cunoscute la acea epocă.

El a descoperit astfel fenomenul „difuziunii compensate" dînd o nouă explicaţie forţei electromotoare a pilelor electrice, ca şi unei întregi categorii de fenomene electrochimice, încă neexplicate sau greşit interpretate şi care s-au rînduit în mod armonios, în cadrul noii teorii. Aş cita printre acestea : efectul Volta, atacul metalelor de către acizi, halogeni etc., — activitatea ionilor tari, funcţionarea pilelor gen Daniell, funcţionarea acumulatorilor cu plumb, mecanismul captării energiei în pilele de concentraţie, supratensiunea în electroliză, electroliza apei, anomaliile pilei cu oxigen şi a pilei Grove cu oxigen şi hidrogen.

În ultimii ani ai existenţei sale, V. Karpen crează o nouă teorie şi explicaţie a cîmpului magnetic terestru.

Această teorie explică în mod surprinzător toate aspectele cantitative şi calitative ale acestui cîmp. În legătură cu reflexiile sale asupra principiului lui Carnot-Clausius, V. Karpen abordînd problema originii vieţii pe planeta noastră, ajunge la concluzia că ea a apărut în apa oceanelor, datorit fenomenului de „fluctuaţie", graţie căruia moleculele se pot organiza în sisteme din ce în ce mai complexe ajungînd pînă la moleculele gigante ale materiei vii.

În afara lucrărilor ştiinţifice, V. Karpen a fost un promotor al tradiţionalei prietenii care leagă ţara noastră de Franţa. Astfel el a reprezentat Academia română şi Şcoala Politehnică la : centenarul Marcelin Berthelot (Paris 23 Oct. 1927) ; la centenarul Societăţii Franceze a fizicienilor (16 nov. 1923) ; la centenarul August Fresnel (Paris 27 oct. 1927) ; la Congresul Internaţional de electricitate (Paris 1932), care a fost prezidat de Paul Janet.

De asemenea în numele Academiei şi a Şcolii Politehnice, el a primit în România pe cei mai iluştri mesageri ai ştiinţei franceze. Printre aceştia : Jean Perrin, A. Cotton, P. Langevin, L. Guillet, Paul Janet.

Printre foştii săi elevi : Prof. C. Budeanu, prof. I.S. Gheorghiu, N.I. Brînceni, A. Proca (care a descoperit în acelaşi timp cu Yukava, mezonii) şi mulţi alţii, urmînd exemplul şi sfaturile sale au dus faima Şcolii Politehnice din Bucureşti, peste hotare.

N.V. Karpen a lăsat posterităţii o operă ştiinţifică durabilă, de înalt nivel, care va lumina calea acelora care angajîndu-se pe drumurile noi deschise de el în ştiinţă, vor lărgi în viitor, domeniul cunoaşterii ştiinţifice a Universului.

CENTRI DE CULOARE PARAMAGNETICI

Conf. Dr. AL. NICULA, Cluj

Halogenurile alcaline cristalizează într-o structură ce rezultă din interpătrunderea a două reţele cubice cu feţe centrate : una conţinînd ionii metal alcalin, iar cealaltă halogeni (fig. 1).

Monocristalele halogenurilor alcaline, pure, sînt transparente pentru întreaga porţiune a spectrului vizibil. Ele pot fi colorate, creînd în reţeaua lor centri de culoare în diferite moduri ;

a) prin introducerea în rețeaua cristalului a unui exces de ioni metalici (se încălzește cristalul în vaporii metalului alcalin și apoi se răcește rapid).

b) prin iradiere cu radiații electromagnetice, cum ar fi razele X, razele γ, razele ultraviolete și prin bombardare cu neutroni sau electroni.

c) impurificarea cristalelor cu alți ioni, diferiți de ionii ce formează rețeaua de bază, produce (de asemenea) colorarea halogenurilor alcaline.

Un centru de culoare este un defect de rețea care absoarbe energie din lumina vizibilă. Sînt și alte defecte care absorb energie din ultraviolet sau infraroșu, dar ele nu colorează cristalul. Multe defecte ce pot fi create în halogenuri alcaline sînt paramagnetice, ele putînd fi studiate prin metoda rezonanței paramagnetice sau cu metode magnetice statice [1].

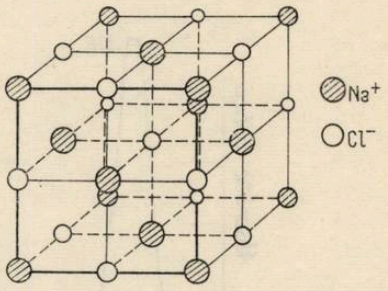


Fig. 1. Structura spațială a halogenurilor alcaline de tipul clorurei de natriu.

În cele ce urmează ne vom ocupa cu descrierea și studiul prin rezonanță magnetică a centrilor de culoare paramagnetici. Ordinea în care vom face acest studiu este începută cu centri de culoare cu exces de electroni, apoi centri de culoare cu exces de goluri, iar în încheiere vom trata defectele paramagnetice ce apar în halogenurile alcaline impurificate cu ioni neparamagnetici.

1. Centri de culoare cu exces de electroni.

Cel mai simplu centru de culoare cu exces de electroni, este *centrul F*. El se produce fie prin încălzirea cristalului în vaporii metalului alcalin, fie prin iradierea lui cu raze X sau gama [2]. Structura electronică a centrului F a fost elucidată pentru prima oară cu ajutorul metodei rezonanței electronice de spin. Centrul este format dintr-un electron captat la o vacanță anionică. Apariția vacanțelor se face pe seama plecării din rețea a ionilor negativi. Acest lucru face ca densitatea cristalelor să se micșoreze. Structura centrului F prezentată într-un plan [100] se arată în figura 2.

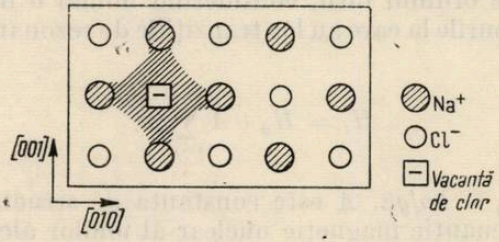


Fig. 2. Modelul centrului F. Partea haşurată este norul electronic cu densitatea de probabilitate la nucleele vecine diferită de zero.

Banda de absorbție de energie, din spectrul luminii vizibile, asociată cu centrul F se numește *bandă F*. În figura 3 sînt arătate benzile de absorbție pentru cîteva cristale de halogenuri alcaline.

Centrul F este paramagnetic, paramagnetismul lui provenind de la spinul $s = 1/2$, al electronului ce formează centrul împreună cu vacanța. Lărgimea liniei de rezonanță, studiată pentru prima oară de Hutchinson în 1949 [3], este determinată mai cu seamă de interacțiunea hiperfină dintre spinul s al electronului captat de vacanță, și momentele magnetice nucleare ale ionilor alcalini vecini vacanței. Spinul nuclear al acestor momente este $I = 3/2$. Experimental, interacțiunea hiperfină a fost observată

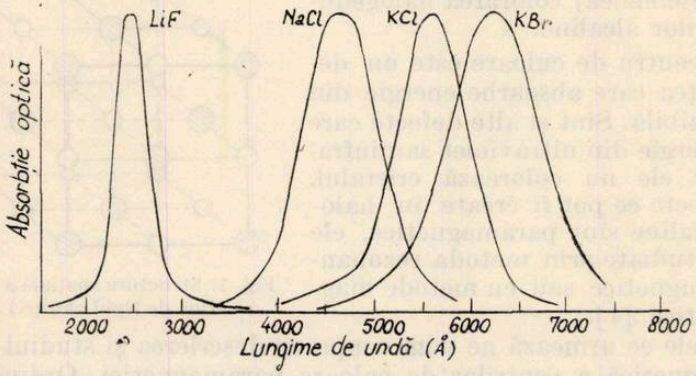


Fig. 3 Benzile de absorbție a centrului F în cîteva halogenuri alcaline.

în multe cristale de halogenuri alcaline. S-a constatat că în majoritatea cazurilor ea este izotropă, adică electronul captat la vacanță este în configurația s, și dă o densitate de electroni la nucleul ionilor vecini diferită de zero. Peste interacțiunea hiperfină izotropă se suprapune o interacțiune hiperfină dipolară care depinde de unghiul pe care îl face cîmpul magnetic cu axele cristalului.

Starea energetică a centrului F este dată de interacțiunea sa cu cîmpul magnetic exterior $g\beta\overline{S}.\overline{H}$ și de interacțiunea hiperfină ASI, care adunate se scriu sub forma:

$$\mathcal{H} = g\beta\overline{S}\cdot\overline{H} + A\overline{S}\cdot\sum_{i=1}^{6} I_i \qquad (1)$$

În aproximația de ordinul întîi, considerînd numai o interacțiune hiperfină izotropă, cîmpurile la care au loc tranzițiile de rezonanță, din relația (1), sînt:

$$H_i = H_0 + A\sum_{i=1}^{6} m_i \qquad (2)$$

În relația (2): $H_0 = h\nu/g\beta$, A este constanta de structură hiperfină, iar m_i este numărul cuantic magnetic nuclear al ionilor alcalini vecini.

Ca un exemplu vom considera centrul F în florură de litiu, (LiF) unde interacțiunea hiperfină a electronului se consideră că se realizează numai cu cei șase nuclei cei mai apropiați. Dacă electronul este echivalent față de cei șase nuclei, atunci numărul liniilor de structură hiperfină se calculează din relația $2nI + 1 = 19$, deoarece $n = 6$, iar $I = 3/2$. Din spectrul experimental al florurei de litiu s-a calculat factorul $g = 1{,}987$

și constanta hiperfină $A = 17$ Gs. Constanta de interacțiune hiperfină izotropă este legată de funcția de undă a electronului la nucleu prin relația :

$$A = \frac{8\pi}{3} g\beta g_N \beta_N |\psi|^2 \qquad (3)$$

din care cunoscînd constanta A se poate afla $|\psi|^2$, care reprezintă probabilitatea existenței electronului la locul unde se află nucleul ionului vecin. Pentru exemplu nostru $|\psi|^2_{Li^+} = 1,9 \cdot 10^{-23}$ cm^{-1}.

Din exemplul de mai sus se vede cum cu ajutorul datelor experimentale obținute din spectrul de rezonanță electronică de spin a centrului F, se poate calcula funcția de undă a electronului la nucleele vecine. Valoarea factorului g a centrului F este mai mică decît valoarea factorului g a electronului liber. Aceasta din cauza existenței unui cuplaj spin-orbită pozitiv.

Cu ajutorul spectrelor optice s-au identificat și alte tipuri de centri cu exces de electroni. Ei se numesc centri asociați sau centri de tip F. Centri de tip F sînt formați din mai multe vacanțe anionice la care se asociază electroni. Centrul F' de exemplu este o vacanță anionică care captează doi electroni cu spinii cuplați antiparalel, centrul fiind diamagnetic. În afară de centrul F, ceilalți centri cu exces de electroni nu au fost identificați cu ajutorul rezonanței, ci numai pe cale optică [4].

3. Centri paramagnetici cu exces de goluri.

Prin iradierea halogenurilor alcaline, sau a halogenurilor alcalino-pămîntoase, cu raze X sau gama, la temperaturi joase, se formează centri a căror structură nu este așa de simplă ca a centrilor F. Formarea acestor centri este legată de asocierea cu anumite structuri din rețea, a golurilor ce se produc prin plecarea electronilor în urma iradierii. Acești centri se numesc *centri de tip V*.

Centrul antimorf cu centrul F este format dintr-o vacanță cationică la care se asociază un gol. El s-a notat cu V_F. Acest centru a fost studiat din punct de vedere al proprietăților optice, însă identificarea lui cu ajutorul rezonanței magnetice este încă neclară. Încercînd să se studieze prin rezonanță electronică de spin centri cu exces de goluri, făcîndu-se o analogie cu centri F, nu s-a ajuns la descoperirea antimorfilor corespunzători, ci s-a găsit un nou centru, notat cu V_K, care se formează prin captarea unui gol la un ion halogen și rezultatul cuplîndu-se cu un alt ion halogen se formează astfel molecula X_2^-. Litera X reprezintă un halogen oarecare. În figura 4 este reprezentat în planul [100] modelul centrului V_K în clorură de natriu. Centrul este Cl_2^-, adică o pereche de ioni negativi ce captează un gol. Axul moleculei ion Cl_2^- este orientat pe direcțiile [110]. Centrul V_K se formează prin iradiere cu raze X sau gama la temperatura de 77°K.

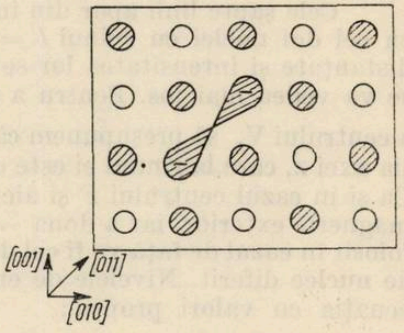


Fig. 4. Modelul centrului V_K.

Spectrul de rezonanță electronică de spin a centrului V_K studiat de Känzig în 1955 [5] prezintă o structură hiperfină care se rezolvă foarte ușor. Golul ce este autocaptat de o pereche de ioni negativi este mai bine

localizat decît electronul din centrul F şi de aceea structura hiperfină se rezolvă mai clar decît în cazul centrului F. Structura hiperfină provine din interacţiunea electronului neîmperecheat cu cei doi nuclei ce formează molecula ion X_2^-. Complexitatea structurii hiperfine depinde, deci, de numărul cuantic de spin al nucleelor. Figura 5 redă spectrul centrului V_K

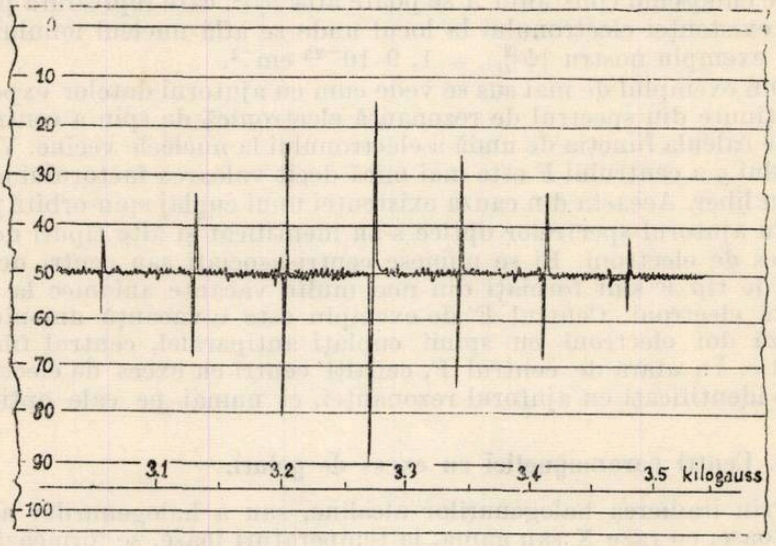


Fig. 5

Spectrul de rezonanţă electronică a centrului V_K în clorura de potasiu.

în clorura de potasiu atunci cînd cîmpul magnetic exterior este paralel cu o axă [100] a cristalului.

Cele şapte linii apar din interacţiunea electronului cu spinul $s = 1/2$, cu cei doi nuclei cu spinul $I = 3/2$, ai moleculei Cl_2^- [6]. Ele sînt egal distanţate şi intensitatea lor se află în raportul 1 :2 :3 :4 :3 :2 :1, aşa cum se va vedea mai jos. Pentru a analiza structura spectrului de rezonanţă a centrului V_K să presupunem că cîmpul magnetic $\vec{H}$ este orientat în direcţia axei z, care la rîndul ei este orientată în lungul axei [001] a cristalului. Ca şi în cazul centrului F şi aici survin două interacţiuni : una cu cîmpul magnetic exterior, iar a doua — cea hiperfină. Prin urmare hamiltonianul folosit în cazul de faţă va fi cel din relaţia (1), avînd în vedere însă numărul de nuclee diferit. Nivelele de energie de spin electronic se calculează din ecuaţia cu valori proprii :

$$E_M = \langle M \mid \mathcal{H} \mid M \rangle \tag{4}$$

ceea ce în mod explicit duce la nivele de energie :

$$E_{1/2} = \frac{1}{2} g_z \beta H + \frac{1}{2} A_z (I_1^z + I_2^z)$$

$$E_{-1/2} = -\frac{1}{2} g_z \beta H - \frac{1}{2} A_z (I_1^z + I_2^z) \tag{5}$$

Tranzițiile de rezonanță, luînd în considerare și interacțiunea hiperfină, vor fi date de condiția $E_{1/2} - E_{-1/2} = h\nu$, adică :

$$h\nu = g_z \beta H + A_z (m_1 + m_2) \qquad (6)$$

unde m_1 și m_2 sînt numerele cuantice magnetice ale celor doi nuclei de Cl. Fiecare din cele două numere cuantice pot lua valorile : 3/2, 1/2, −1/2, −3/2. Prin urmare frecvența de rezonanță depinde de m_1 și m_2 numai prin suma $m_1 + m_2$. Cea mai mare valoare a sumei $m_1 + m_2$ este 3/2 +3/2 = 3. Următoarea valoare, în ordinea mărimii, este 1/2+3/2=2. Această valoare se găsește de asemenea dacă $m_1 = 3/2$ și $m_2 = 1/2$. Deci, deoarece considerăm că cei doi nuclei sînt echivalenți față de electron, linia cu $m_1 + m_2 = 2$ apare de două ori la același cîmp și deci va fi de două ori mai intensă ca cea cu $m_1 + m_2 = 3$. În tabelul de mai jos dăm valorile sumei $m_1 + m_2$ și combinațiile posibile care duc la o aceeași valoare a acestei sume.

(m_1, m_2)	$A(m_1+m_2)$	Numărul de linii suprapuse
(3/2, 3/2)	3 A	1
(3/2, 1/2) (1/2, 3/2)	2 A	2
(3/2, −1/2) (1/2, 1/2) (−1/2,3/2)	1 A	3
(3/2, −3/2) (1/2,−1/2) (−1/2, 1/2) (−3/2, 3/2)	0 A	4
(−3/2, 1/2) (−1/2, −1/2) (1/2, −3/2)	1 A	3
(−3/2, −1/2) (−1/2, −3/2)	2 A	2
(−3/2, −3/2)	3 A	1

În foarte multe cazuri spectrul de rezonanță a centrului V_K este mult mai complex, prezentînd liniile ambilor izotopi ai clorului. Recent Wilkins și Gabriel [7] au pus în evidență, tot prin rezonanță electronică de spin, un centru analog cu V_K, dar format din nuclei de halogeni diferiți. Spectrul obținut de ei, redat în figura 6, este al centrului $(ClF)^-$, adică

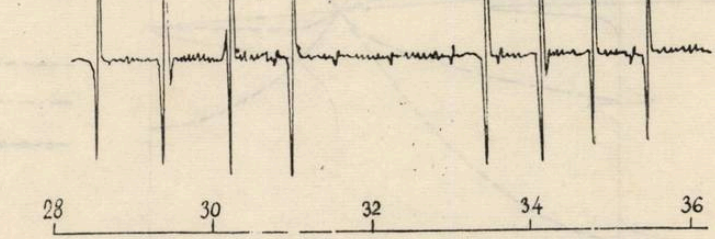


Fig. 6. Spectrul de rezonanță al centrului $(ClF)^-$.

de tipul (XY^-). El este compus din două grupuri de structuri hiperfine, fiecare conținînd patru linii datorate nucleului de clor, iar cele două grupuri provin de la nucleul de fluor care are spinul nuclear egal cu 1/2.

3. Centri produşi prin impurificare

Din punct de vedere structural cel mai simplu centru ce apare în halogenuri alcaline este centrul ce rezultă prin înlocuirea ionului metal alcalin, ce face parte din reţeaua de bază, cu un alt ion alcalin. De ex. înlocuirea în concentraţii foarte mici, a ionului Na^+ din ClNa cu Li^+. Ionul de litiu nu-şi plasează centrul chiar în locul unde a fost centrul ionului de Na şi de aceea acest centru se numeşte *off center* sau *centru necentrat.*

De o complexitate mai mare sînt centri ce rezultă prin introducerea în reţeaua halogenurii alcaline a unor ioni bivalenţi. Ionul bivalent, avînd o sarcină dublă, face ca pentru menţinerea neutralităţii electrice a întregului cristal, să apară în reţea o vacanţă de acelaşi semn cu sarcina cationului. Din punct de vedere electric, locul vacanţei este de semn contrar cu semnul sarcinii cationului. Cationii bivalenţi ce sînt introduşi în cristal, atît cei paramagnetici cît şi cei neparamagnetici, produc centri ce se pot studia prin rezonanţă electronică de spin.

Dintre cationii paramagnetici cel mai mult studiat a fost ionul Mn^{2+}. Watkins în 1959 [8] a arătat că Mn^{2+} în halogenuri alcaline ocupă patru poziţii diferite. Aceste poziţii au fost detectate, analizînd parametri spectrului de rezonanţă a ionului paramagnetic de mangan. I. Ursu şi colaboratorii [9] în 1966 au analizat spectrul ionului Fe^{3+}, introdus în florură de litiu. Se pare că în reţeaua acestui cristal ionul de fier intră mai uşor sub formă de Fe^{2+}. Şi alţi ioni paramagnetici au fost introduşi în halogenuri alcaline, iar centri produşi de aceştia au fost întotdeauna identificaţi

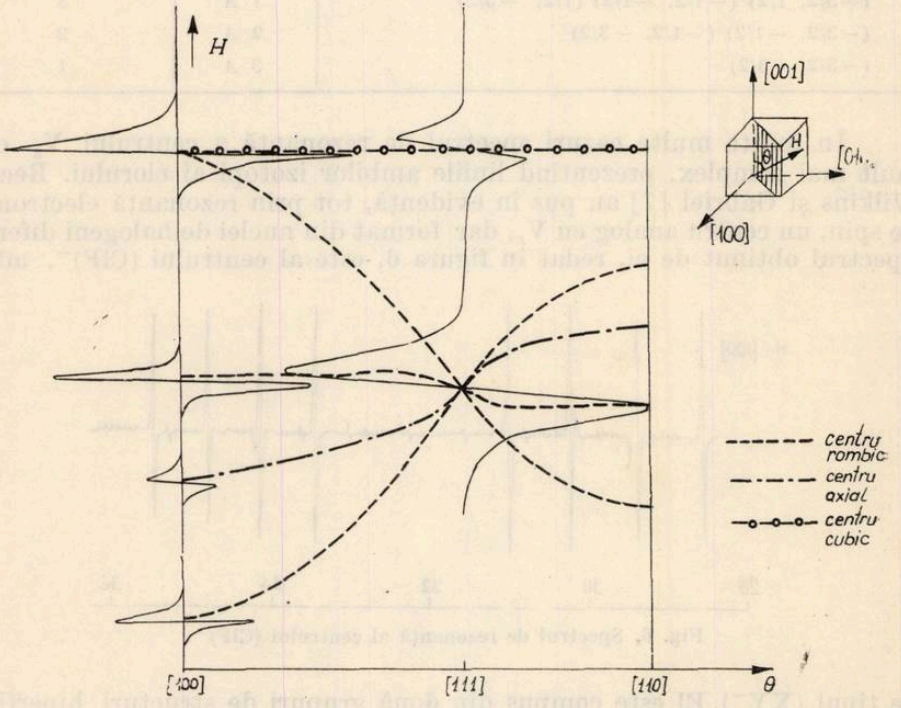


Fig. 7. Centri paramagnetici produşi prin doparea halogenurilor alcaline cu Ca^{2+}. Se dau liniile pe direcţiile [100] şi [111] şi dependenţa lor unghiulară în planul [110.]

cu ajutorul spectrelor de rezonanță. Din cauza numărului mare de lucrări referitoare la acești ioni, nu expunem mai departe rezultatele referitoare la centri produși în halogenuri alcaline de ionii paramagnetici.

Din punct de vedere științific este interesant a analiza apariția în halogenuri alcaline a unor centri paramagnetici în urma dopării lor cu cationi neparamagnetici. Al. Nicula și colaboratorii în 1968 [10], [11] au pus în evidență un centru paramagnetic complex ce apare în clorură de natriu și bromură de natriu dopate cu Ca^{2+} și apoi iradiate cu raze ultraviolete. Ulterior aceiași autori [12] au arătat că același tip de centru apare și în cazul cînd în aceleași cristale se introduc Sr^{2+}, Ba^{2+}, Ni^{2+}, Mn^{2+}, Al^{3+}. Recent [13] am arătat că introducerea unuia din cationii de mai sus în halogenuri de natriu și apoi iradierea lor cu raze X sau gama, face să apară în spectru și o componentă cubică intensă. Axele principale a componentei axiale și a componentei rombice sînt direcțiile [100] ale cristalului. În figura 7 sînt reprezentate cele trei tipuri de linii și dependența lor unghiulară în planul [110].

Experimental s-a constatat că formarea centrilor de simetrie rombică și axială este favorizată de radiația ultravioletă, iar centrii cubici sînt favori-

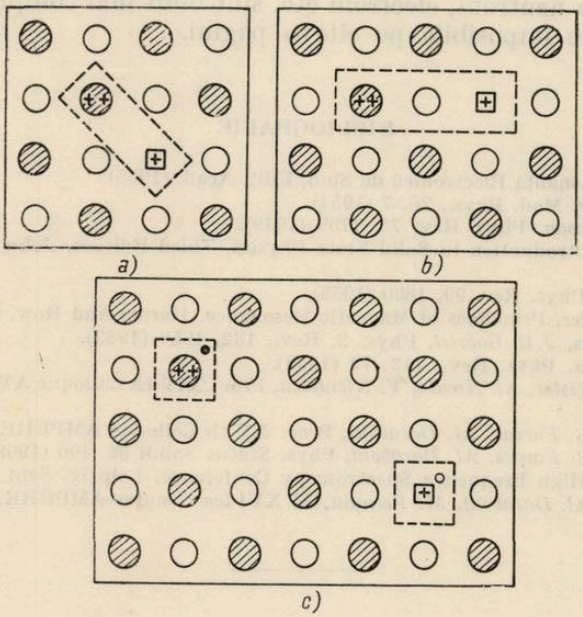


Fig. 8 Modelul centrului complex; *a*) centrul rombic, *b*) centrul axial, *c*) centrul cubic care poate fi creat în două moduri.

zați, în formarea lor, de radiații cu energii mai mari, ca razele X și gama. Cele trei componente rezultă din interacțiunea unui electron cu cîmpul magnetic exterior și dependența lor unghiulară reiese din condiția de rezonanță :

$$h\nu = g\beta H \text{ cu } g = \sqrt{g_{xx}^2 \cos^2\theta_1 + g_{yy}^2 \cos^2\theta_2 + g_{zz}^2 \cos^2\theta_3} \qquad \text{c. rombic}$$

$$g = \sqrt{g_{\parallel}^2 \cos^2\theta + g_{\perp}^2 \sin^2\theta} \qquad \text{c. axial}$$

$$g = g_{\parallel} = g_{\perp} \qquad \text{c. cubic}$$

Componentele principale ale tensorului g pentru centrul rombic au valorile: $g_{xx} = 2{,}122$; $g_{yy} = 2{,}059$ și $g_{zz} = 2{,}002$. Pentru centrul axial valorile sînt: $g_{\parallel} = 2{,}002$ iar $g_{\perp} = 2{,}088$. Centrul cubic are valoarea lui $g = 2{,}002$.

Pentru a explica cum se formează cele trei categorii de centri, am presupus că odată cu introducerea cationilor bivalenți se formează vacanțe care se asociază cu cationi, iar în urma iradierii aceste asociații cation-vacanță cationică captează electroni. În figura 8/a și 8/b se arată modelul centrului paramagnetic rombic și axial, iar în figura 8/c modelul cubic, care este o asociație vacanță cationică — gol captat. Aceasta înseamnă că acest centru ar fi un fel de antimorf al centrului F, adică ar fi chiar un centru V_F, fără structură hiperfină.

Am încercat în cele spuse mai sus să facem o clasificare a centrilor de culoare ce apar în halogenuri alcaline în urma unor acțiuni date de agenți exteriori. De fapt defectele ce apar în corpul solid în urma perturbațiilor exterioare: variație de temperatură, iradiere electromagnetică, bombardare cu neutroni, electroni etc. sînt mult mai complexe și sistematizarea lor este imposibilă pe cîteva pagini.

BIBLIOGRAFIE

[1] *I. Ursu*, Rezonanța Electronică de Spin, Edit. Acad. (1965).
[2] *F. Seitz*, Rev. Mod. Phys., 26, 7 (1954).
[3] *C.A. Hutchinson*, Phys. Rev. 75, 1769 (1949).
[4] *Ch. Kittel*, Introduction to Solid State Physics, Third Edition, John Wiley, New York (1967).
[5] *W. Känzig*, Phys. Rev. 99, 1890 (1955).
[6] *Ch. P. Slichter*, Principles of Magnetic Resonance, Harper and Row, New York (1963).
[7] *J.W. Wilkins, J.R. Gabriel*, Phys. S. Rev., 132, 1950 (1963).
[8] *G.D. Watkins*, Phys. Rev., 113, 79 (1959).
[9] *I. Ursu, S. Nistor, Al. Nicula, V. Niculescu*, Proc. XIV-th Colloque AMPERE Ljubljana (1966).
[10] *Al. Nicula, S. Farcas, Al. Darabont*, Proc. XV-th Colloque AMPERE, Grenoble (1968).
[11] *Al. Nicula, S. Farcas, Al. Darabont*, Phys. Status Solidi 32, 400 (1969)
[12] *Al. Nicula*, High Frequence Spectroscopy Conference, Leipzig, Sept (1969).
[13] *Al. Nicula, Al. Darabont, M. Peteanu*, Al XVI-lea Congres AMPERE, București (1970).

FORMA LINIEI DE ABSORBȚIE R.M.N.

ȘTEFAN LEVAI, STELIANA LEVAI și MIHAI CATRINESCU

Facultatea de Fizică, București

Una din sarcinile de bază a cercetărilor de R.M.N., este determinarea formei liniei de absorbție (uneori și a dispersiei), adică a dependenței susceptibilității magnetice χ'' de frecvența cîmpului de R.F. — ν. În lucrarea de față ne vom ocupa numai de cazul cîmpurilor de R.F. slabe, adică de cazul cînd nu se manifestă saturația spectrelor R.M.N. [1.2.3].

Se știe că un sistem cuantic ideal, cu două nivele energetice dă un spectru de absorbție a cărui lărgime este foarte mică, fiind determinată de relația de incertitudine : $\Delta E \cdot \Delta t \sim \hbar$. Deci chiar în cazul ideal nu putem afirma că un sistem cu două nivele E_a și E_b, absoarbe energie de o frecvență strict determinată, $h\nu = E_a - E_b$.

În realitate, se studiază substanțele în toată complexitatea lor, adică substanțe la care există interacțiunea dintre spinii nucleari, dintre aceștia și electroni, dintre sistemul de spini și rețea etc. Presupunem că proba de studiat se află într-un cîmp magnetic constant H_0 și unul variabil de R.F. H_1, deci are loc o interacțiune cu aparatul de detectare a semnalului nuclear. Toate aceste interacțiuni duc la o lărgire a spectrului de R.M.N. Vom considera două categorii de mecanisme care duc la lărgirea liniilor de R.M.N.

1. lărgire uniformă
2. lărgire neuniformă

Conform teoriei Portis [4] din categoria mecanismelor care duc la lărgirea uniformă, fac parte : *a*) interacțiunea dipolară dintre spinii nucleari, *b*) relaxația spin-spin, *c*) interacțiunea spinilor cu cîmpul de radiație, *d*) difuzia excitației în probă și *e*) fluctuațiile cîmpului local.

Caracteristica generală a acestor mecanisme este aceea că acțiunea lor asupra spinilor nucleari este aceeași. Lărgirea liniei de rezonanță a eșantionului este o urmare a lărgirii liniilor individuale ale fiecărui spin, și de aceea o numim uniformă.

Din categoria mecanismelor care duc la lărgirea neuniformă fac parte : *1*) interacțiunea hiperfină dintre electroni și spinii nucleari, *2*) lărgirea anizotropă, *3*) prezența cîmpului magnetic extern neomogen $H_0(r)$.

Interacțiunea hiperfină duce la multiplicitatea spectrului și ca rezultat la lărgirea liniei acestuia.

Lărgirea anizotropă este legată de dependența frecvenței de rezonanță ν_0 și de orientarea axei cristalului de studiat, față de direcția cîmpului extern H_0.

Calculul formei liniei de absorbție R.M.N. este o problemă foarte complicată și numai în anumite cazuri particulare se poate obține o relație explicită pentru aceasta.

Vom considera pentru această ilustrare, cazul cel mai simplu, al unui sistem de spini liberi (care nu interacționează între ei). Un asemenea sistem se poate descrie cu ajutorul ecuației clasice a lui Bloch :

$$\frac{d\vec{M}}{dt} = \gamma(\vec{M} \times \vec{H}) - \frac{M_x\vec{i} + M_y\vec{j}}{T_2} - \frac{M_z - M_0}{T_1}\vec{k} \qquad (1)$$

unde $\vec{M}$ este vectorul de magnetizare totală, γ — factorul giromagnetic, T_1 și T_2 — timpii de relaxare spin-rețea și spin-spin, $\vec{H}$ — este suma cîmpurilor : H_0 paralel cu axa **oz** a cîmpului magnetic constant, și H_1 paralel cu axa **ox**, a cîmpului de radiofrecvență. Ecuația (1) se rezolvă simplu transcriind-o într-un sistem de coordonate care se rotește în jurul direcției cîmpului magnetic H_0, adică în jurul axei **oz**.

Componentele M_x și M_y, pentru cazul staționar au următoarea expresie :

$$M_x = \chi_0\omega_0 T_2 \frac{(\omega - \omega_0)T_2}{1 + (\omega_0 - \omega)^2 T_2^2} H_1 \qquad (2.a)$$

$$M_y = \chi_0 \omega_0 T_2 \frac{1}{1+(\omega-\omega_0)^2 T_2^2} H_1 \qquad (2.b)$$

Aici am folosit relația : $M_0 = \chi_0 H_0$.
Ținînd cont că susceptibilitatea magnetică complexă este :

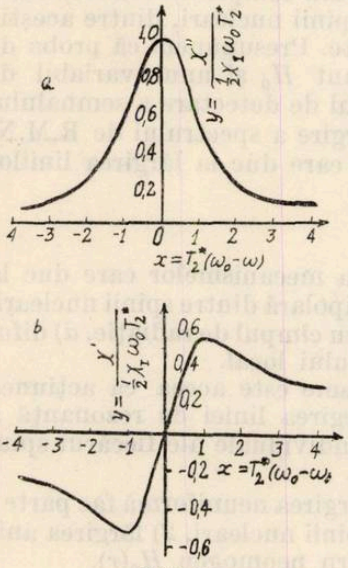


Fig. 1

$$\chi = \chi' + i\chi'' \qquad \text{și}$$

$$\chi' = \frac{M_x}{2H_1} \quad \text{iar} \quad \chi'' = \frac{M_y}{2H_1}$$

din ecuația (2.a și 2.b) obținem :

$$\chi' = \frac{\chi_0 \omega_0 T_2}{2} \cdot \frac{(\omega-\omega_0)T_2}{1+(\omega-\omega_0)^2 T_2^2} \qquad (3)$$

$$\chi'' = \frac{\chi_0 \omega_0 T_2}{2} \cdot \frac{1}{1+(\omega-\omega_0)^2 T_2^2} \qquad (4)$$

În R.M.N. asemenea funcții apar destul de des, mai ales în studiul lichidelor, unde spinii pot fi considerați liberi. Graficul acestor funcții este dat în fig. (1), χ' fiind linia de dispersie, iar χ'' de absorbție. Ecuația (4) se mai poate scrie și sub forma :

$$\chi'' = \frac{1}{2} \pi \chi_0 \nu_0 f(\nu) \qquad (5)$$

unde $$f(\nu) = \frac{2T_2}{1+4\pi^2(\nu_0-\nu)T_2^2} \qquad (6)$$

se numește funcție de formă și este normată.
În cazul corpurilor solide, unde apar interacții între spinii nucleari, descrierea sistemului de spini nu se mai poate face cu ajutorul unei descrieri clasice de tipul ecuației lui Bloch.

Teoria microscopică a găsit o expresie generală pentru susceptibilitatea χ'', dar cum vom vedea , în cele mai multe cazuri nu o putem aplica în mod concret.

Pentru ilustrarea greutăților ce apar în asemenea calcule vom schița succint ideea de obținere a acestei expresii.
Vom considera că asupra sistemului de spini acționează o perturbație dată de cîmpul de R.F.

$$\mathcal{H}_{\text{perturbator}} = -\mathcal{M}_x \cdot H_1 \cos \omega t \qquad (7)$$

unde $\mathcal{M}_{(x)} = \sum_k \mu_{xk}$ — operator reprezentînd componenta macroscopică a magnetizării nucleare.
Dacă perturbația (7) lipsește, atunci hamiltonianul sistemului considerat cuprinde interacțiunea dintre spinii j și k : $\mathcal{H}_{j,k}$, și interacțiunea spinilor cu cîmpul magnetic extern H_0, adică interacție Zeeman.Hamiltonianul va avea forma :

$$\mathcal{H} = -\sum_k \mu_{zk} H_0 + \sum_{j,k} \mathcal{H}_{jk} \qquad (8)$$

Vom nota cu E_a şi E_b, valorile proprii ale energiei hamiltonianului, iar prin |a) şi |b) funcţiile proprii corespunzătoare.

După cum se ştie, funcţia de undă în forma cea mai generală se reprezintă ca o combinaţie liniară a funcţiilor proprii |a) şi |b) adică :

$$\psi = \sum_a C_a |a)\, e^{-\left(\frac{i}{\hbar}\right) E_a \cdot t} \tag{9}$$

unde prin $|C_a|^2$ vom înţelege probabilitatea ca sistemul să se găsească în starea „a" şi vom nota $p(a) = |C_a|^2$.

În cazul cînd sistemul de spini se află în echilibru termic, probabilitatea ca sistemul să se găsească în starea „a" va fi dată de :

$$p(E_a) = \frac{e^{-\frac{E_a}{KT}}}{\sum_{E_c} e^{-E_c/KT}} \tag{10}$$

unde indicele E_c ia toate valorile energiei spectrului.

Numitorul din relaţia (10) reprezintă suma statistică clasică şi îl vom nota cu Z.

Energia absorbită de sistem în unitatea de timp P_{ab}, la tranziţia dintre stările a şi b, o vom exprima prin W_{ab}, care reprezintă probabilitatea de tranziţie în unitatea de timp.

Deci :

$$\overline{P}_{ab} = \hbar\omega W_{ab}[p_{(E_b)} - p_{(E_a)}] \tag{11}$$

În cazul cîmpurilor slabe de R.F. probabilitatea W_{ab}, este dată de expresia :

$$W_{ab} = \frac{2\pi}{\hbar} |(a| \cdot \mu_x |b)|^2 \cdot \delta(E_a - E_b - \hbar\omega) \tag{12}$$

unde, $(a|\mu_x|b)$ este elementul de matrice, iar δ este funcţia lui Dirac.

Făcînd însumarea pe toate stările cu $E_a > E_b$ şi considerînd şi bilanţul energetic avem :

$$\overline{r} = \frac{2\pi}{\hbar} \cdot \frac{H_1^2}{4} \cdot \hbar\omega \sum_{E_a > E_b} \{p(E_b) - p(E_a)\} |(a|\mu_x|b)|^2 \delta \cdot [E_a - E_b - \hbar\omega] =$$

$$= \frac{\omega}{2} \chi'' H_1^2 \tag{13}$$

unde partea a doua a egalităţii reprezintă energia absorbită în unitatea de timp /1/. Din relaţia (13), obţinem :

$$\chi'' = \pi \sum_{E_a, E_b} \{p(E_b) - p(E_a)\} |(a|\mu_x|b)|^2 \cdot \delta(E_a - E_b - \hbar\omega) \tag{14}$$

În cazul temperaturilor înalte, deci cînd $(E_b - E_a) << KT$, (în R.M.N numai în cazul temperaturilor foarte joase nu are loc această relaţie) luînd în consideraţie relaţia (10), vom obţine :

$$p(E_b) - p(E_a) = \frac{e^{\frac{-E_a}{KT}} (e^{(E_a - E_b)KT} - 1)}{Z} = \frac{e^{\frac{-E_a}{KT}}}{Z} \cdot \left(\frac{E_a - E_b}{KT}\right) \tag{15}$$

Înlocuind (15) în (14), obţinem :

$$\chi'' = \frac{\hbar\omega\pi}{KTZ} \sum_{E_a, E_b} e^{\frac{-E_a}{KT}} \cdot |(a|\mu_x|b)|^2 \cdot \delta(E_a - E_b - \hbar\omega) \tag{16}$$

care reprezintă relaţia generală a susceptibilităţii magnetice χ''. După cum se poate observa, pentru calcularea efectivă a lui χ'', este necesară cunoaşterea funcţiei de undă şi a nivelelor energetice ale sistemului, ceea ce duce în cele mai multe cazuri la imposibilitatea de a efectua un asemenea calcul.

Van-Vleck [5] a arătat că pentru a studia forma liniei R.M.N. putem ocoli acest obstacol prin calcularea aşa numitelor momente ale spectrelor de absorbţie, calcul care nu necesită cunoaşterea funcţiilor de undă şi a nivelelor de energie.

Prin momentul de ordin „n" al unui spectru înţelegem expresia :

$$M_n = \int (\omega - \omega_0)^n f(\omega)\, d\omega \tag{17}$$

unde $f(\omega)$ este funcţia de formă. O asemenea însumare se poate face grafic uşor, după spectrul înregistrat. Din teoria lui Van-Vleck se obţin pentru momentul secund şi cel de ordinul patru următoarele expresii :

$$M_2 = \frac{S_p\{[\mathcal{H}_p, \mathcal{I}_x]^2\}}{S_p\{\mathcal{I}_x^2\}} \tag{18}$$

$$M_4 = \frac{S_p\{[\mathcal{H}_p, [\mathcal{H}_p, \mathcal{I}_x^2]]^2\}}{S_p\{\mathcal{I}_x^2\}} \tag{19}$$

unde S_p reprezintă „spurul" (urma) expresiei respective, $\mathcal{H}_p$ este operatorul de perturbaţie (de exemplu interacţia dipolară), $\mathcal{I}_x$ este un operator ce reprezintă proecţia spinului total pe axa **ox** ; prin parantezele drepte se înţelege comutatorul. Asemenea expresii se pot calcula relativ uşor [6]. Din (17) se vede că dacă $f(\omega)$ este o funcţie simetrică, (în R.M.N. aceasta este valabil) atunci toate momentele de ordin impar sînt nule. Vom considera două tipuri de funcţii de forma cea mai des utilizată şi anume, funcţia gausiană şi cea lorentziană, date de expresiile :

$$f(\omega) = \frac{1}{\Delta\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(\frac{-(\omega - \omega_0)^2}{2\Delta^2}\right)$$

şi

$$f(\omega) = \frac{\delta}{\pi} \cdot \frac{1}{\delta^2 + (\omega - \omega_0)^2}$$

unde δ este semilărgimea liniei la jumătatea înălţimii, iar Δ este semilărgimea între punctele de inflexiune ale curbei. Calculînd M_x şi M_y după (17), vom obţine pentru funcţia gaussiană :

$$M_2 = \Delta^2 \quad \text{şi} \quad M_4 = 3\Delta^4 \quad \text{deci raportul} \quad \frac{M_4}{M_2} = 3.$$

Pentru funcţia lorentziană, acest calcul îl putea face considerînd că funcţia $f(\omega)$ este determinată pe intervalul $|\omega - \omega_0| \leqslant \alpha$ unde $\alpha \gg \delta$. În acest caz :

$$M_2 = \Delta^2 = \frac{2\alpha\delta}{\pi} \quad \text{şi} \quad M_4 = \frac{2\alpha^3\delta}{3\pi}$$

adică :

$$\frac{M_4}{M_2} = \frac{\pi\alpha}{6\delta}$$

Putem trage concluzia deci, că dacă raportul $\frac{M_4}{M_2}$ este în jurul valorii 3, funcția este gaussiană, dacă acest raport este un număr mare, atunci funcția este lorentziană. Din concordanța valorilor acestui raport, determinate experimental și teoretic, calculate după (19) și (20), putem trage concluzia asupra justeței modelului presupus pentru interacțiunea $\mathcal{H}_p$ folosită în teorie.

Pentru ilustrare practică, vom da spectrul înregistrat de noi pentru monocristalul oxiacetatului de beriliu $Be_4O(COOCH_3)_6$. Fig. 2. reprezintă spectrul diferențiat, care se obține la înregistrarea spectrului folosind o modulare de joasă frecvență a cîmpului magnetic, și detectat cu un detector sensibil la fază. Oxiacetatul de beriliu este un cristal cubic (pînă la 150°C) cu fețe centrate. Spectrul din figura 2 este înregistrat cînd axa /1, 1, 1/ a cristalului a fost paralelă cu cîmpul magnetic constant H_0, folosind un cîmp de R.F. $H_1 = 1{,}8$ mgauss și $H_m = 1{,}5$ gauss.

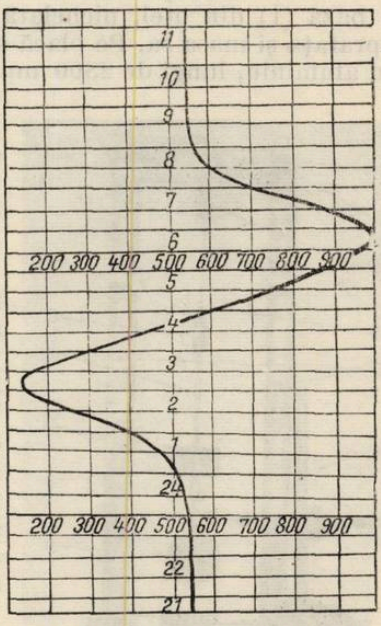


Fig. 2

Calculul grafic al momentelor acestui spectru a dus la rezultatul : $\frac{M_4}{M_2} = 2{,}91$ deci putem afirma că forma liniei de absorbție, în acest caz, este gaussiană.

BIBLIOGRAFIE

1. *A. Abragam* — The Principles of nuclear magnetism.
2. *B.N. Provotorov* — J.T.F. 41-1961
3. *M. Catrinescu, Steliana Levai* și *St. Levai* — Revista de Fizică-Chimie Nr. 6 1970
4. *Portis A.M. V* Phys. Rev. 1953 V. 91. Nr. 5. 1071
5. *Van Vleck J.H.* — Phys. Rev. 74, 1168 (1948)
6. *A. Lösche* — Kern induction
7. *Charles P. Slichter* — Principles of Magnetic Rezonance.

APARAT PENTRU DETERMINAREA MODULULUI DE ELASTICITATE LA INTINDERE

Conf. univ. C. RUSESCU, Galaţi

Descrierea aparatului. Aparatul (fig. 1) se compune dintr-o placă de bază (1) din oţel, nichelată, care asigură stabilitatea aparatului prin suprafaţa şi masa sa. Pe placă s-au fixat prin înşurubare două coloane (2) din aluminiu, lungi de 2300 mm, cu diametrul de 30 mm şi distanţa între axe de 160 mm. Cele două coloane sînt unite la partea superioară cu o traversă (3) prevăzută cu un locaş pentru dispozitivul superior de prindere (4) a firului (5), căruia i se determină modulul de elasticitate la întindere.

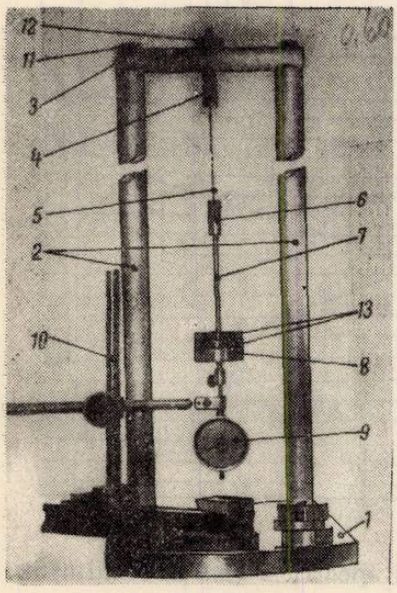


Fig. 1

Traversa, o bară de aluminiu de Ø 30 mm este fixată la capul coloanelor cu două şuruburi (11). La mijloc are o gaură dreptunghiulară prin care trece şurubul pentru fixarea dispozitivului de prindere a firului. Traversa a fost frezată pînă la contactul cu capetele coloanelor şi capul şuruburilor. Lungimea traversei şi secţiunea ei critică în dreptul momentului maxim încovoietor asigură o săgeată a cărei valoare este mult sub precizia instrumentului de măsură a alungirii firului.

Dispozitivul de prindere al capătului superior al firului este format dintr-o piesă cilindrică cu Ø 16—40 mm, care se prelungeşte într-o parte cu un şurub M8 × 50 mm, care trece prin gaura traversei. Forma secţiunii şurubului şi o piuliţă randalinată (12) îi asigură o cursă de reglare pe verticală de circa 20 mm, fără a-l roti. În partea opusă şurubului, dispozitivul este secţionat pînă la jumătate în plan axial, iar apoi în plan transversal, formîndu-se astfel falca fixă a dispozitivului de prindere.

Cealaltă falcă are forma şi dimensiunile părţii rezultate în urma secţionărilor. Suprafeţele secţiunii longitudinale au fost uşor rizate, prinderea materialului făcîndu-se între ele, folosind şurubul de strîngere cu cap îngropat, în partea exterioară a fălcii mobile.

Dispozitivul de prindere al capătului inferior al firului (6) este aproape identic cu cel superior, diferenţa constînd în faptul că şurubul axial (7) lung de 120 mm are capătul filetat pe o lungime de 20 mm şi se asamblează cu un corp cilindric (8) cu Ø 55 × 28 mm. Întregul ansamblu avînd o masă de aproximativ 660 gr, asigură preîntinderea firului.

Partea inferioară a acestei mase cilindrice este în contact printr-un dispozitiv de prindere cu palpatorul unui micrometru comparator (9) (instrumentul de măsură a alungirii firului), fixat în suportul său (10). Atît micrometrul cît şi suportul său sînt produse de serie ale Uzinei 21 Decembrie-Bucureşti.

Masele tarate (13) sînt niște discuri cu diametrul masei cilindrice (8) și grosimi diferite, care fiind prevăzute cu o fantă radială de 9 mm, pot fi suprapuse masei cilindrice cu axul în axul șurubului (7) fără a înclina dispozitivul de prindere.

Suportul cu micrometrul se așează pe placa de bază a aparatului, axul palpatorului printr-un dispozitiv de prindere se fixează în axul corpului cilindric întinzător (8).

Cu acest aparat se pot face determinări ale modulului de elasticitate a firelor metalice cu diametrul pînă la 1 mm.

Precizia măsurătorilor. Aparatul este destinat lucrărilor de laborator cu studenții, la cursul de fizică (mecanică), pentru determinarea modulului de elasticitate. Originalitatea aparatului constă în dimensionarea lui și în folosirea pentru măsurarea alungirii firului a micrometrului comparator.

La aparatele din laboratoarele de fizică destinate aceluiași scop se folosesc de obicei dispozitive complicate pentru măsurarea alungirilor, de regulă, cu oglindă rotitoare și spot luminos. Prin folosirea micrometrului comparator, aparatul se simplifică, crescînd totodată precizia măsurătorilor din cauza eliminării dispozitivelor de amplificare a măsurării alungirii, care introduc erori sistematice, datorită jocurilor inerente a articulațiilor acestor dispozitive în locașurile lor și dificultăților ce se întîmpină în reglarea dispozitivului optic folosit.

Relația pentru determinarea modulului de elasticitate E este:

$$E = \frac{4\,l\,F}{\pi\,\delta l\,d^2} \tag{1}$$

iar eroarea relativă maximă datorită măsurătorilor va fi dată de:

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta F}{F} + \frac{\Delta \delta l}{l} + 2\,\frac{\Delta d}{d} \tag{2}$$

a. Lungimea l a firului de aproximativ 2000 mm, se măsoară cu o riglă gradată cu o aproximație Δl care se poate aprecia la $\pm$ 5 mm.

b. Greutățile F ce se suprapun pe greutatea întinzătorului pentru alungirea firului sînt de ordinul a 250 gf. și se cîntăresc cu o balanță tehnică cu o precizie ΔF de $\pm$0,1 gf.

c. Alungirea δl a firului, de ordinul 0,50 mm, se măsoară cu micrometrul comparator cu o aproximație $\Delta \delta l = \pm$ 0,005 mm.

d. Diametrul firului d este de ordinul 0,5 mm și se măsoară cu micrometrul cu o precizie Δd de $\pm$ 0,005 mm.

Introducînd aceste mărimi caracteristice aparatului, în relația (2) se obține:

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{5}{2000} + \frac{0{,}1}{250} + \frac{0{,}005}{0{,}5} + 2\,\frac{0{,}005}{0{,}5} = 0{,}0329 \tag{3}$$

Prin urmare cu aparatul descris se pot obține valori ale modulului de elasticitate al firelor cu o eroare relativă de aproximativ 3%, ceea ce este suficient pentru lucrările de laborator cu studenții. Aparatul poate fi construit cu ușurință în orice laborator de fizică ce dispune de un atelier de întreținere. Un astfel de aparat este folosit cu succes pentru lucrările cu studenții anului I în laboratorul de mecanică al Facultății de fizică-chimie din Institutul pedagogic Galați (fig. 1).

Modul de lucru. Cînd se fac determinări, firele fiind supuse la tracțiune, se va ține seama de aria secțiunii lor, astfel ca să nu se depășească limita de elasticitate.

Din relația (3) se constată că eroarea relativă se datorește în cea mai mare măsură lipsei de precizie în ceea ce privește măsurarea diametrului firului:

$$2\frac{\Delta d}{d} = 2\frac{0{,}005}{0{,}5} = 0{,}02$$

De aceea măsurarea diametrului firului trebuie făcută cu multă atenție în mai multe locuri și apoi luată media aritmetică a valorilor obținute.

Folosirea unui fir calibrat ar elimina de aceea cea mai importantă sursă de erori. Firul trebuie să fie bine întins (să nu prezinte îndoituri sau ondulații), aceste defecte ale firului putînd fi singurele surse apreciabile de erori sistematice.

Determinările se fac foarte simplu prin încărcarea firului cu greutățile a căror masă se cunoaște și apoi citindu-se în sutimi de milimetru indicațiile micrometrului comparator. Datele obținute din măsurători se introduc în relația (1).

Exemplu. Determinarea modulului de elasticitate al unui fir cu caracteristicile: 01 34—38

Diametrul d al firului: 0,335 mm.

Aria secțiunii firului: 0,0872 mm^2.

Lungimea firului: 1860 mm.

Firul a fost supus unei încercări de 0,271 kgf.

Făcîndu-se un număr de 16 determinări, s-au obținut următoarele rezultate în mm: 0,33, 0,33, 0,32, 0,31, 0,32, 0,31, 0,30, 0,33, 0,31, 0,31, 0,31, 0,29, 0,32, 0,31, 0,31, 0,29, a căror medie este 0,31 mm. Eroarea cea mai probabilă a măsurătorii fiind dată de formula:

$$\Delta F = \pm 0{,}6745\sqrt{\frac{\Sigma(\Delta N)^2}{n(n-1)}} \qquad (4)$$

$\Sigma(\Delta N)^2$ fiind suma pătratelor abaterilor de la medie, iar n numărul de determinări. Introducînd datele în formula (4) se obține:

$$\Delta F = \pm 0{,}06745\sqrt{\frac{0{,}28}{240}} \approx \pm 0{,}02$$

Eroarea cea mai probabilă este deci de ordinul de mărime al erorii relative calculate ținîndu-se seama de precizia măsurătorilor.

Considerînd că valoarea cea mai exactă a alungirii este media aritmetică a celor 16 determinări: 0,31 mm, se obține pentru modulul de elasticitate:

$$E = \frac{4\cdot 0{,}271\cdot 1860}{3{,}14\cdot 0{,}31\cdot 0{,}335^2} \approx 18\,700 \text{ kgf/mm}^2$$

și ținînd seama că eroarea relativă este de 3% putem scrie:

$$E = 18\,700 \pm 561 \text{ kgf/mm}^2.$$

FERITELE

Proprietățile electrice ale feritelor

N. REZLESCU, Iași

Urmare din nr. 9/1970

Prin natura lor, feritele sînt semiconductori. Rezistivitatea lor poate varia de la 5.10^{-3} Ω. cm în cazul magnetitei Fe_3O_4 pînă la 10^{11} Ω. cm în unele ferite de nichel și magneziu (10).

O ferită poate prezenta proprietăți electrice diferite după modul în care s-a aplicat tratamentul termic de sinterizare. Presiunea de disociere a oxigenului din Fe_2O_3 crește puternic peste 1200°C (11), ceea ce determină apariția unei cantități de ioni bivalenți de fier, acești ioni provoacă o creștere puternică a conductibilității, știut fiind că mecanismul de conducție a feritelor are loc prin schimbul electronic între ionii Fe^{2+} și Fe^{3+} de pe locurile octaedrice (12). Avem deci o conductibilitate electronică, de tip n.

În afara conductibilității electronice, în ferite poate exista și o conductibilitate de găuri, de tip p. Aceasta se întîmplă de exemplu în cazul feritei nichel-zinc cu deficit de fier (8). O parte din Ni^{2+} trece în Ni^{3+}, ceea ce determină o conductibilitate de tip p.

În ferita de cobalt pot apărea două regiuni de conductibilitate (8), una de tip n ($Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$) și alta de tip p ($Co^{2+} \rightarrow Co^{3+}$). În feritele cu conductibilitate de tip p rezistivitatea are o valoare foarte mare.

Rezistivitatea feritelor depinde foarte mult de condițiile de răcire după sinterizare. La răcirea lentă într-o atmosferă oxidantă , oxigenul difuzează prin porii feritei și oxidează ionii Fe^{2+} formați în timpul sinterizării. Se formează în acest fel pelicule de mare rezistivitate, care împreună cu contribuția porilor, face ca ferita să prezinte o structură dielectrică neomogenă.

Noi am constatat că rezistivitatea feritelor răcite lent după sinterizare poate avea valori cu 2—3 ordine de mărime mai mare decît cea a acelorași ferite răcite rapid (călite) (13).

În ferite, rezistivitatea scăzută este însoțită de o constantă dielectrică mare.

Rezistivitatea feritelor variază cu temperatura după legea bine cunoscută a semiconductorilor:

$$\rho = \rho_0 e^{q/kT},$$

unde q este așa numita energie de activare a procesului de conducție, adică energia necesară unui electron pentru a deveni liber și a participa la conducție; ρ_0 este o constantă, k constanta lui Boltzman și T temperatura absolută.

Reprezentînd grafic $\lg \rho$ funcție de $1/T$, panta dreptei obținute ne dă energia de activare:

$$q = 0,198.10^{-3} \frac{d(\lg \rho)}{d(1/T)}$$

S-a observat o anomalie a energiei de activare la trecerea prin punctul Curie: prin modificarea pantei dreptei $\lg \rho = f(1/T)$, energia de ac-

tivare crește la trecerea din domeniul feromagnetic în domeniul paramagnetic. În fig. 8 dăm rezultatele obținute de noi în ceea ce privește dependența rezistivității de temperatură, pentru cîteva ferite de tip spinel (14).

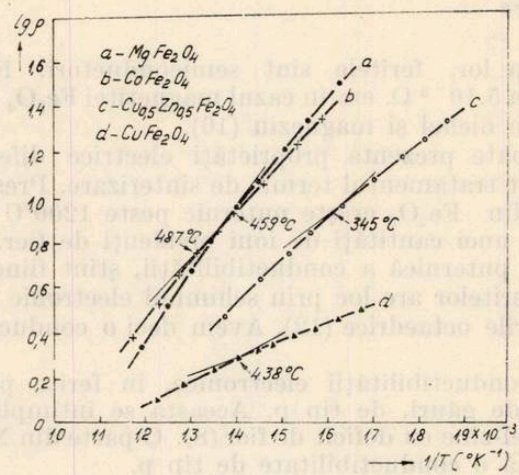


Fig. 8

Se observă flexiunea pe care o suferă dreptele $\lg \rho = f(1/T)$ la trecerea prin punctul Curie.

5. Ferite pentru aplicații

5.1. *Ferite pentru înaltă frecvență*

Ferite de nichel și nichel-zinc. Pentru a se evita pierderile prin curenți turbionari, feritele folosite la frecvențe înalte trebuie să aibă o rezistivitate mare. Se știe apoi că cu cît frecvența de lucru este mai ridicată, permeabilitatea trebuie să fie mai mică. Cum feritele de nichel posedă o rezistivitate înaltă și permeabilitate scăzută, ele pot fi folosite cu succes la frecvențe înalte.

În tabelul de mai jos este dată dependența proprietăților unei ferite de nichel și a unei ferite de nichel-zinc, de temperatura de sinterizare, pentru o sinterizare în aer timp de 5 ore și răcire lentă.

Tabel

Ferita	Temperatura de sinterizare (°C)	μ_0	B_m (Gs)	B_r (Gs)	H_c (Oe)
$NiFe_2O_4$	1 200	8,5	300	80	22
	1 300	13,0	750	375	13,2
	1 400	24,2	1 700	1 200	8,2
	1 450	29,5	1 630	875	5,4
$Ni_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$	1 200	54,5	1 350	700	4,6
	1 300	231,0	3 550	2 150	1,2
	1 400	322	4 000	2 220	0,37
	1 450	329	2 900	2 000	0,36

Substituția nichelului cu zinc în ferita de nichel duce la creșterea permeabilității inițiale și deci la scăderea frecvenței de utilizare.

În fig. 9 dăm rezultatele obținute de noi în ceea ce privește dependența rezistivității, punctului Curie și permeabilității, inițiale pentru feritele din sistemul $Ni_xZn_{1-x}Fe_2O_4$ funcție de compoziție (x variază în-

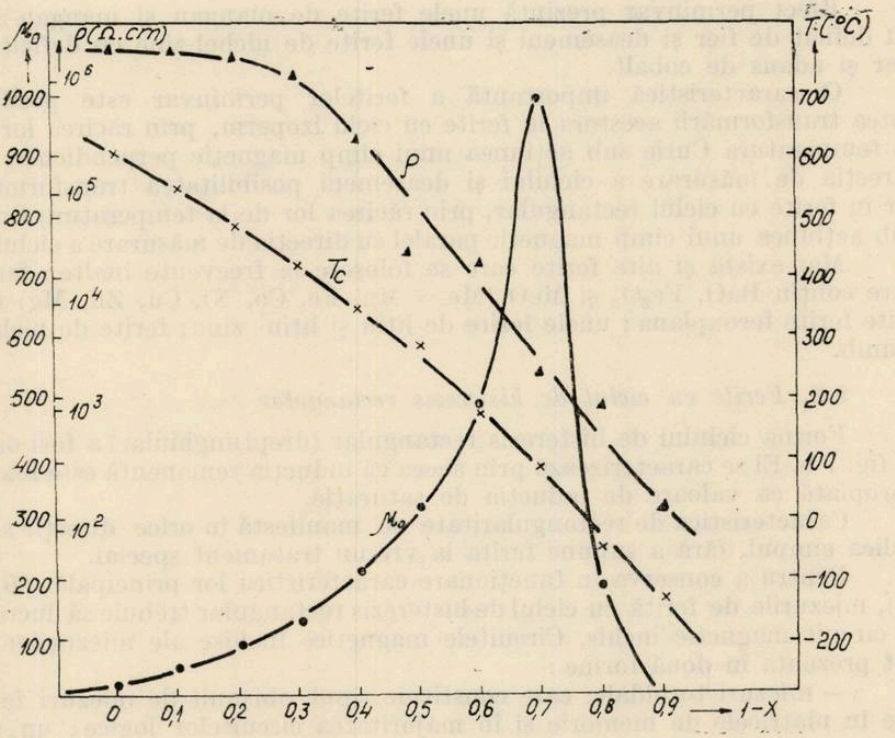


Fig. 9

tre 0 și 0,9). Sinterizarea s-a făcut în aer la 1300°C, timp de 4 ore, iar răcirea a fost lentă, odată cu cuptorul. Se observă că odată cu creșterea conținutului de zinc rezistivitatea scade, punctul Curie se deplasează către temperaturi mai mici, iar permeabilitatea inițială crește, atinge un maxim pentru ferita $Ni_{0,3}$ $Zn_{0,7}$, Fe_2O_4 și apoi scade rapid.

Ferite perminvar. Sînt ferite a căror permeabilitate inițială rămîne constantă pentru cîmpuri care nu depășesc o anumită valoare limită. Forma ciclului de histerezis s-a arătat în fig. 7 a. Suprafața mică a ciclului de histerezis determină pierderile reduse ale acestor ferite în curent alternativ. Pierderile prin curenți turbionari sînt mici datorită valorii mari a rezistivității.

Starea perminvar are loc la unele ferite cu exces de Fe_2O_3 și o o mică cantitate de cobalt. Dacă asemenea ferite se răcesc lent după sinterizare, datorită ordonării ionilor în rețeaua cristalină după direcția vectorului de magnetizare spontană, se crează o anizotropie uniaxă care se suprapune peste aceea normală a rețelei cubice cauzînd astfel efectul perminvar.

Rolul cobaltului pare a fi acela de a stabiliza rețeaua cristalină a feritei și a crea minime de energie adînci care să fixeze pereții Bloch și să permită deplasarea lor reversibilă. Cobaltul mai are ca efect și reducerea coeficientului termic al permeabilității în aceste ferite.

Excesul de Fe_2O_3 duce, în anume condiții de sinterizare, la un exces de oxigen în rețeaua spinelică și deci la goluri de metal care, prin difuzia lor, produce efectul perminvar.

Efect perminvar prezintă unele ferite de mangan și mangan-zinc cu deficit de fier și deasemeni și unele ferite de nichel-zinc cu deficit de fier și adaus de cobalt.

O caracteristică importantă a feritelor perminvar este posibilitatea transformării acestora în ferite cu ciclu izoperm, prin răcirea lor de la temperatura Curie sub acțiunea unui cîmp magnetic perpendicular pe direcția de măsurare a ciclului și deasemeni posibilitatea transformării lor în ferite cu ciclul rectangular, prin răcirea lor de la temperatura Curie sub acțiunea unui cîmp magnetic paralel cu direcția de măsurare a ciclului.

Mai există și alte ferite care se folosesc la frecvențe înalte : ferite care conțin BaO, Fe_2O_3 și MeO (Me = Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mg) numite ferite feroxplana ; unele ferite de litiu și litiu- zinc ; ferite de nichel-plumb.

5.2. *Ferite cu ciclul de histerezis rectangular*

Forma ciclului de histerezis rectangular (dreptunghiular) a fost dată în fig. 7 b. El se caracterizează prin aceea că inducția remanentă este foarte apropiată ca valoare de inducția de saturație.

Caracteristica de rectangularitate se manifestă în orice direcție s-ar aplica cîmpul, fără a supune ferita la vre-un tratament special.

Pentru a conserva în funcționare caracteristica lor principală ($B_r \approx B_s$), miezurile de ferită cu ciclul de histerezis rectangular trebuie să lucreze în circuit magnetic închis. Circuitele magnetice închise ale miezurilor se pot prezenta în două forme :

— miezuri toroidale, care constituie tipul obișnuit de miezuri folosite în matricele de memorie și în majoritatea circuitelor logice ; un rol foarte important îl are raportul între diametrul interior și cel exterior al miezului : cu cît acest raport este mai mare, apropiindu-se de unitate, cu atît rectangularitatea ciclului este mai pronunțată ;

— miezuri cu mai multe căi de flux ; sînt miezuri care avînd două sau mai multe orificii, determină un număr de căi de flux distincte în miez; ele au avantajul posibilității realizării unor funcțiuni complexe într-un singur miez, a posibilității realizării unor sisteme logice cu un număr minim de elemente magnetice, a păstrării îndelungate a informației înmagazinate. În fig. 10 este arătat un miez cu două orificii și trei căi de flux (notate cu 1,2 și 3).

5.3. *Ferite de înaltă permeabilitate*

Feritele de înaltă permeabilitate au un domeniu vast de aplicații la frecvențe joase, în automatizări și în telecomunicații. Spre deosebire de magnetizarea de saturație care este limitată de natura antiferomagnetică a feritelor, permeabilitatea lor poate fi oricît de mare. Aceasta este condiționată de următorii factori :

— alegerea unei compoziții care să posede o constantă de anizotropie magnetocristalină și un coeficient de magnetostricțiune cît mai mici posibil, în domeniul temperaturilor de lucru ;

— obținerea unei structuri cristaline uniforme, cu cristale mari, fără defecte și cu porozitate mică și uniform repartizată;

— evitarea tensiunilor interne în procesul de presare, de sinterizare și în special în timpul răcirii.

Ferita nu trebuie să prezinte defecte întrucît acestea împiedică deplasarea liberă a pereților domeniilor, limitînd deci permeabilitatea inițială. Porozitatea determină o anumită anizotropie de formă (magnetostatică).

La feritele cu dependență normală a permeabilității inițiale de temperatură, se poate obține o permeabilitate inițială mare prin reducerea temperaturii Curie, ceea ce se realizează în mod obișnuit printr-o compoziție bogată în zinc. Au putut fi realizate ferite cu $\mu_0 \approx 10\,000$ și temperatură Curie 40°C (15). Dar pentru aplicații practice temperatura Curie trebuie să fie mai mare de 100°C.

Ferite mangan și mangan-zinc. Larga utilizare a feritelor ce conțin mangan este datorată proprietăților magnetice superioare (permeabilitatea mare, superioară tuturor celorlalte ferite, pierderi reduse pînă la frecvențe de ordinul 1 MHz, coeficienți de temperatură mici) și costului redus al materiilor prime.

Un incovenient al acestor ferite este însă prepararea lor mai dificilă față de a celorlalte ferite, datorită faptului că manganul poate prezenta diferite trepte de oxidare. În funcție de compoziție, feritele ce conțin mangan necesită la preparare și mai ales în timpul răcirii o atmosferă mai puțin oxidantă. Ele se pot prepara și în aer, dar atunci răcirea trebuie făcută rapid (călire) pentru a „îngheța" faza stabilă la temperatura de sinterizare.

Realizarea unor permeabilități inițiale mari în feritele de mangan-zinc este condiționată de existența în produsul final a unei cantități de fier bivalent, obținută prin introducerea unui exces de Fe_2O_3 în amestecul inițial.

Introducerea zincului în ferita de mangan are ca rezultat creșterea permeabilității inițiale și deplasarea punctului Curie către temperaturi mai mici. În fig. 11 sînt arătate rezultatele obținute de noi pentru feritele

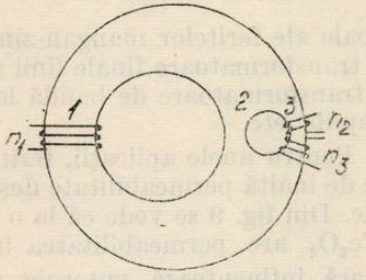


Fig. 10

sistemului $Mn_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ de compoziție stoichiometrică, x variind între 0 și 0,9 (16). Se observă că permeabilitatea inițială crește numai pînă la compoziția $Mn_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$ după care scade; aceasta se explică prin scăderea interacțiunilor antiferomagnetice A—B pentru compozițiile cu $ZnO > 0,5$ (9)

Permeabilitatea inițială are ca valoare maximă 600; dar aceasta pentru compoziții stoichiometrice. Cînd feritele mangan-zinc conțin Fe_2O_3 în exces, permeabilitatea inițială crește mult.

Există anumite condiții care trebuiesc îndeplinite la prepararea feritelor mangan-zinc pentru a obține permeabilități mari:

— materiile prime folosite să fie pure, de granulație mică și să fie reactive;

— măcinarea materiilor prime trebuie făcută timp îndelungat pentru a se obține o granulație mai fină și o capacitate de reacție mai mare

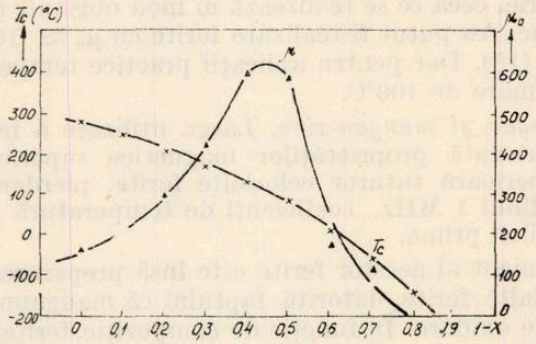


Fig. 11

prin creșterea suprafețelor; granulația fină determină și o scădere a porozității (creșterea densității), care este o altă condiție pentru a obține permeabilități mari;

— compoziția finală a feritei mangan-zinc depinde de temperatura și durata tratamentului termic final (sinterizare) și de atmosfera cuptorului, în special la răcire; permeabilitatea inițială crește cu temperatura de sinterizare, dar numai pînă la o anumită temperatură.

Cercetările întreprinse în ultimii ani asupra feritelor mangan-zinc au reușit să conducă la realizarea unor ferite cu permeabilități inițiale foarte mari (peste 10 000) și cu temperatura Curie mult peste temperatura camerei.

Utilizările principale ale feritelor mangan-zinc de înaltă permeabilitate sînt ca miezuri de transformatoare finale linii și de bobine de deflexie în televiziune, filtre și transformatoare de bandă largă în telecomunicații, transformatoare de impuls etc.

Ferite nichel-zinc. Pentru unele aplicații, feritele de nichel-zinc prezintă interes și ca ferite de înaltă permeabilitate deși au pierderi superioare feritelor de mangan-zinc. Din fig. 9 se vede că la o compoziție stoichiometrică, ferita $Ni_{0,3}Zn_{0,7}Fe_2O_4$ are permeabilitatea inițială cea mai mare.

Structura granulară influențează puternic valorile permeabilității inițiale; aceasta crește cu diametrul particulelor, ceea ce se explică prin deplasarea pereților domeniilor, care necesită energii mai mici.

Fabricarea feritelor nichel-zinc este mai puțin pretențioasă ca acelor mangan-zinc. Ele pot fi preparate foarte bine în aer; răcirea lor după sinterizare se face deasemeni în aer, odată cu răcirea cuptorului în care au fost sinterizate, deci lent.

5.4. *Ferite pentru magneți permanenți*

Aceste ferite se mai numesc și magnetic dure din cauza cîmpului lor coercitiv mare. Ele se împart în două grupe; ferite pe bază de cobalt $CoFe_2O_4$ și ferite hexagonale pe bază de bariu și stronțiu.

Magneții pe bază de cobalt sînt fabricați din magnetită Fe_3O_4 și ferita de cobalt $CoFe_2O_4$, prin presare și sinterizare la temperaturi de 1 000—1 100°C, timp de 1—2 ore și apoi răcire lentă în cuptor. Răcirea de la 300°C pînă la tepmperatura camerei se face în cîmp magnetic. Se obțin cîmpuri coercitive de 400—600 Oe și inducții remanente de 3 000—5 000 Gs. Dar acești magneți sînt scumpi și destul de fragili.

Magneții pe bază de ferite hexagonale prezintă un avantaj esențial față de magneții metalici și anume: nu cuprind în compoziția lor metale deficitare ca Ni, Co, Ti.

Ceea ce caracterizează magneții permanenți din ferită de bariu (cei mai utilizați) este valoarea ridicată a cîmpului coercitiv (2 000—3 000 Oe), determinată de o puternică anizotropie magnetocristalină și de dimensiunea redusă a particulelor cristaline. Inducția remanentă este aproximativ 3000 Gs.

Magneții din ferită de bariu pot fi izotropi sau anizotropi, după cum așezarea cristalelor este arbitrară sau este ordonată (cu axele hexagonale paralele cu o direcție privilegiată)

Inducția remanentă a magneților anizotropi poate atinge valori egale cu cea de saturație, dacă magnetizarea se face pe direcția preferențială; se obține astfel $B_r \approx 4\,000$ Gs. Cîmpul coercitiv al magneților anizotropi este mai redus decît al celor izotropi, din cauza posibilității formării domeniilor de magnetizare ca urmare a continuității de orientare a vectorilor de magnetizare din cristalele vecine.

Magneții din ferita de bariu au o densitate mare. Materiile prime de bază la prepararea lor sînt oxidul roșu de fier Fe_2O_3 și oxidul de bariu BaO. Formula stoichiometrică este BaO 6 Fe_2O_3. Se preferă însă compoziții nestoichiometrice cu exces de BaO, adică BaO xFe_2O_3 cu x cuprins între 5 și 6.

Procesul tehnologic de fabricare depinde de izotropia sau anizotropia magneților. Realizarea anizotropiei se face prin orientarea particulelor de ferită într-un cîmp magnetic puternic, în timpul răcirii.

6. *Aplicațiile feritelor*

Se știe că în electrotehnică se utilizează pe scară largă bobinele cu miez de fier; permeabilitatea miezurilor magnetice obișnuite poate avea valori cuprinse între 100 și 1 000. Miezurile magnetice din ferite pot ajunge la valori de 3 000—5 000 a permeabilității, ceea ce le conferă superioritatea față de miezurile feromagnetice folosite pînă în prezent.

Majoritatea aparatelor de radiorecepție moderne sînt echipate cu antene de ferită, chiar dacă sînt prevăzute și cu antenă electrică. Larga răspîndire a acestor antene în aparatura de radiorecepție se explică prin unele avantaje pe care le prezintă în raport cu antenele electrice și anume:

— gabarit redus, permițînd construcții compacte, portabile, miniaturizate;

— sensibilitate la undele electromagnetice recepționate, ceeaa ce conduce la reducerea efectului paraziților industriali și atmosferici, în special de natură electrostatică;

— proprietăți de directivitate, ceea ce permite obținerea semnalului maxim al postului de emisie căutat prin așezarea barei de antenă perpendicular pe direcția acestui post, sau eliminarea postului perturbator cu o frecvență de emisie apropiată, prin așezarea antenei în așa fel încît semnalele acestui post să fie minime.

Antenele de ferită reprezintă de fapt o perfecționare a antenelor cadru cunoscute. Folosirea feritelor a condus la micșorarea considerabilă a volumului ocupat de antena cadru și la creșterea esențială a eficacității sale. Primele antene de ferită au fost făcute pentru recepționarea undelor medii și lungi, apoi pentru gama undelor scurte, prin realizarea de ferite cu calități superioare la frecvențe înalte. În ultimul timp s-au experimentat și antene de ferită pentru gama undelor ultrascurte.

Din punct de vedere al formei, barele de antenă pot fi cu secțiune cilindrică, eliptică, pătratică sau pot fi plate (secțiune dreptunghiulară cu raportul între laturile dreptunghiului mai mare de 3,3). Antenele cilindrice se folosesc de obicei la radioreceptoarele staționare sau portabile; antenele plate se întîlnesc la receptoarele miniatură.

Permeabilitatea inițială a barelor de antenă este în funcție de gama de frecvențe în care lucrează; astfel, pentru undele lungi și medii $\mu_0 = 150-600$, pentru undele scurte $\mu_0 = 50-100$ și pentru undele ultrascurte $\mu_0 = 15-30$. Se folosește mai ales ferita nichel-zinc și, în ultimul timp, ferita mangan-zinc pentru gama undelor lungi și medii.

Blocurile de înaltă frecvență ale radioreceptoarelor cuprind în bobinele circuitelor de intrare și oscilator elemente de reglaj cu miezuri de ferită. Acestea se pot prezenta fie sub formă de miezuri cilindrice filetate ce se deplasează în interiorul unei carcase, fie ca miezuri cilindrice netede încastrate într-un șurub de material plastic, fie ca miezuri tip „oală" cu întrefier reglabil. Unele receptoare folosesc în circuitul de acord, în loc de condensatoare variabile, miezuri de ferită cu inductanțe variabile, realizînd așa numitul acord prin permeabilitate.

Tot la radioreceptoare, feritele se mai folosesc în circuitele amplificatorului de frecvență intermediară datorită obținerii unor factori de calitate ridicați, a posibilității de miniaturizare și a costului mai scăzut.

În receptoarele de televiziune, antenele magnetice pe bază de ferite tind că înlocuiască dipolii electrici ai antenei exterioare sau ai antenei de cameră. Avantajele antenelor magnetice din ferită constau în compactitatea lor, în posibilitatea de montare directă în televizor, în simetria lor, în nivelul redus al paraziților.

Pînă nu de mult, aplicarea feritelor în receptorul de televiziune se limita la blocul de baleiaj pe orizontală: bloc deflexie și transformator final linii. Astăzi, ca urmare a ridicării limitei frecvenței de utilizare a feritelor, un receptor modern de televiziune cuprinde pînă la 15—20 miezuri de ferită numai în blocurile de înaltă frecvență și frecvență intermediară video și sunet.

Feritele pot îndeplini funcțiunea de „comutator fără contacte". Cu ajutorul unor bobine auxiliare înfășurate pe miezuri de ferită, curentul ce trece printr-o bobină de lucru poate fi reglat între o valoare foarte mare și o valoare foarte mică, ceea ce echivalează cu pozițiile „închis" și „deschis" ale unui comutator.

Comutatorii fără contacte, cu ferite se utilizează în centralele telefonice şi maşinile de calcul, constructorii acestor instalaţii manifestîndu-şi tot mai mult interesul pentru „feritele în regim de comutare".

În maşinile electronice de calcul pentru viteze mari şi mijlocii, feritele cu ciclu de histerezis rectangular servesc ca material de înregistrare şi conservare a datelor, fiind un element esenţial al „memoriei" magnetice a maşinii. Avantajele utilizării miezurilor de ferită în aceste memorii constau în timpul redus de basculare al acestora, siguranţa în funcţionare, durata practic nelimitată de memorizare, posibilitatea obţinerii unei capacităţi mari de memorizare în spaţii relativ restrînse şi lipsa consumului de energie pe timpul înmagazinării informaţiei.

Proprietăţile deosebite ale feritelor, permeabilitatea lor mare şi pierderile electrice mici, au făcut ca aceste materiale să aibă o largă aplicaţie în telecomunicaţii. Feritele pot contribui la îmbunătăţirea calităţii instalaţiilor telefonice la mari distanţe. Se ştie că în acest caz se transmite pe cablu un număr mare de convorbiri simultane. Este vorba de sistemele telefonice cu mai multe căi. La recepţie, convorbirile telefonice trebuiesc separate şi trimise fiecare la destinatarul respectiv. Separarea se realizează cu filtre electrice ale căror proprietăţi depind, în mare măsură, de calitatea miezurilor magnetice utilizate. Miezurile de ferită contribuie tocmai la îmbunătăţirea calităţilor de separare a filtrelor.

Tot în telecomunicaţii feritele mai servesc ca miezuri în bobinele de pupinizare, sisteme de semnalizare şi telecomandă. După cum se ştie, bobinele de pupinizare sînt bobine de inductanţă care se înseriază la intervale regulate pe liniile de telecomunicaţii, pentru a reduce atenuarea semnalelelor. Folosirea feritelor în locul miezurilor din fire de fier sau fier-siliciu, sau al miezurilor din pulbere de fier, fier-siliciu-aluminiu sau fier-nichel cu izolaţie între particule, a dus la o micşorare considerabilă a volumului, greutăţii şi preţului lor, asociată cu o importantă îmbunătăţire a caracteristicilor electrice. Scopul bobinelor de pupinizare este fie de a mări distanţa de comunicaţii fără repetoare intermediare sau cu repetoare distanţate, fie de a micşora diametrul conductorilor, ceea ce duce la economii de cupru şi plumb.

În domeniul microundelor, adică a undelor radio decimetrice şi centimetrice, folosite mai cu seamă în radiolocaţii şi la radiorelee (staţii de retransmitere), feritele îşi găsesc o largă aplicare datorită unor proprietăţi cu totul particulare. S-a observat că undele radio, în anumite condiţii, pot parcurge ferita într-un sens dar n-o pot parcurge în sens contrar, adică ea se comportă ca un element unidirecţional, ca o „supapă electrică". Această proprietate permite ca, în radiolocaţie, să se realizeze comutarea electrică automată, fără dispozitive mecanice cu piese deplasbile, a receptorului şi emiţătorului succesiv, pe o antenă unică a staţiei.

Proprietatea de element unidirecţional a unor ferite este utilizată şi pentru separarea diferitelor părţi ale unei instalaţii, părţi care nu trebuie să se influenţeze reciproc.

Feritele permit construirea unor transformatoare de mică putere, avînd dimensiuni reduse şi a unor transformatoare speciale pentru radiolocaţii. Acestea din urmă lucrează în impuls şi funcţionarea lor în bune condiţii depinde, în mare măsură, de calităţile miezului întrebuinţat.

Feritele şi-au găsit o largă aplicaţie şi în dispozitivele de înregistrare magnetică. Folosite iniţial numai în capetele de ştergere la magnetofoane, feritele, datorită progreselor realizate în caracteristicile şi în tehnnologia de fabricare a capetelor, şi-au extins utilizările în acest domeniu. Acum ele se folosesc la realizarea capetelor pentru semnale numerice în maşinile de calcul cu înregistrare magnetică pe tambur, a capetelor pentru înregistrare şi citire etc.

Feritele dure (feritele pe bază de bariu şi stronţiu se folosesc ca magneţi permanenţi la difuzoare.

La tuburile cinescop, magneţii pe bază de ferită de bariu se folosesc la realizarea capcanelor ionice, ca magneţi de corecţie, de centrare şi de focalizare.

Magneţii permanenţi din ferită de bariu, iar în ultimul timp şi cei din ferită de stronţiu, se folosesc ca magneţi pentru motoare şi generatoare. Aceştia tind să înlocuiască magneţii alni şi alnico în rotoare şi statoare de motoare şi generatoare de mică putere. Înlocuirea se face nu numai pe considerente economice ci şi tehnice.

Alte aplicaţii ale magneţilor din ferită de bariu : la realizarea dozelor pentru picup şi a vitezometrelor pentru autovehicule.

Datorită cîmpului larg de aplicare, feritele interesează multe uzine producătoare de instalaţii, care le folosesc în locul materialelor magnetice clasice, cît şi numeroase laboratoare şi institute de cercetări, care se ocupă de studiul şi tehnologia lor.

BIBLIOGRAFIE

10. *Van Uitert L. G.* Proc. I.R.E. 44, p. 1294 (1956).
11. *Van Uitert L. G.*, J. Chem. Phys. 24, p. 306 (1956).
12. *Verwey E. J. W., Haaijman P. W.* şi *Romeyn F.C.*, J. Chem. Phys. 15, p. 181 (1947).
13. *V. Petrescu* şi *N. Rezlescu*, Rev. Roum. Phys. 13, p. 795 (1968).
14. *Rezlescu N.*, C. R. Acad. Sci. Paris 268, p. 136 (1969).
15. *Cedighian S., Ferite*, Editura Tehnică, Bucureşti 1966.
16. *Rezlescu N.* şi *Petrescu V.*, Bul. Inst. Pol. Iaşi 15 (1969).

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

CĂTRE COLABORATORII NOȘTRI,

Articolele, notele și orice materiale destinate publicării în Revista de Fizică și Chimie seria A trebuie să fie redactate clar și concis (maximum 10 pagini dactilografiate la două rînduri) în două exemplare, însoțite de figuri desenate separat de text, cît mai sugestive, de preferință în tuș pe calc. Fotografiile trebuiesc executate în contrast puternic alb-negru. Figurile și fotografiile trebuiesc trimise de asemenea în două exemplare

Articolele trebuiesc semnate (dactilografiat) imediat sub titlu împreună cu titlul didactic și localitatea autorului.

Pe ultima pagină, pe ambele exemplare trebuie scrisă complet adresa autorului.

În același plic cu materialul colaboratorii noștri sînt rugați să introducă și o carte poștală cu adresa proprie (la destinatar) pentru a ne ajuta în promtitudinea răspunsului.

Materialele ne publicate nu se restituie autorilor.

Pe adresa redacției primim propunerile și sugestiile Dvs. cu privire la tematica Revistei, note critice asupra articolelor publicate pînă acum.

Dorim ca Revista de Fizică și Chimie să vă fie de un real folos în activitatea Dvs. științifică și didactică.

Comitetul de Redacție

INFORMARE

În luna ianuarie, s-a deschis sub auspiciile Ministerului Învăţămîntului, expoziţia „Tehnologia instruirii", confruntare cu publicul a tendinţelor actuale ale modernizării metodelor şi mijloacelor de instruire.

De la bun început, şi pe rînd în toate compartimentele, conţinutul expoziţiei ne dovedeşte înaltul nivel tehnic pe care se bazează predarea şi fixarea cunoştinţelor, indiferent de disciplina studiată.

Fizica este reprezentată în compartimentul „Complex de mijloace moderne audio-vizuale", prin scheme cinematice-funcţionale, policolore, proiectate cu aparate de retro-proiecţie, utile atît în demonstraţii cît şi în noi tipuri de lucrări frontale în care pentru experienţa proiectată de profesor, elevii pot face măsurători, verificări de legi etc.

Studioul de televiziune şcolară, proiectează în direct, experienţe ca : fenomenul de interferenţă, model de sincrofazotron, lecţii de biologie şi chimie.

Tot pe linia modernizării, în compartimentul „Materiale didactice moderne", este prezentată o aparatură nouă, simplă şi eficientă în utilizare, complexe de truse pentru capitole întregi, modele polifuncţionale cu care elevii creează şi montează experienţe, pun în evidenţă fenomene, stabilesc legi.

În afară de acestea, expoziţia mai prezintă aparate complexe pentru învăţarea limbilor străine, un planetariu, pupitre-armoniete, aparate de autoinstruire, de verificare a cunoştinţelor şi aptitudinilor.

fiz. *Octavian Iacob*. Didactica Bucureşti

I.P.I. — c. 6172

Index 43 459

Lei 3

SOCIETATEA DE ȘTIINȚE FIZICE ȘI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista DE FIZICĂ ȘI CHIMIE

SERIA A
VOLUMUL VIII

3

FEBRUARIE 1971

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE
STR. NUFERILOR 23, SECTORUL 7 BUCUREȘTI—46 TELEFON 16.42.86

SUMAR

Pag.

Rusu Viorica, București

1. Metode analitice de analiză a urmelor de elemente 81

N. *Ionescu Pallas*, București

2. Bazele electrodinamicii macroscopice 95

Maria Zoran, București,

3. Studiu asupra poluării atmosferei. 106

4. Programa de fizică pentru anii I—IV Secția Umanistă a liceului de cultură generală (Proiect pentru discuții). 111

Szöcs Huba, Szöcs Geza, Tg. Secuiesc

5. Folosirea osciloscopului catodic la lucrările de laborator 118

COMITETUL DE REDACȚIE

Ion Agîrbiceanu, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România); **Constantin D. Albu**, lector univ.; **Teodor Bohățiel**, asist. univ.; **Simion Bulgărea**, prof.; **Maria Codreanu**, prof.: **Andra Körner**, redactor; **Nicolae Martalogu**, conf. univ.; **Eleonora Mihul**, cercetător, **Ion C. Moisil**, conf. univ., **Alice Negoescu**, prof., **Ion C. Petrea**, conf. univ. **Victor Sahini**, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România); **Elena Teodoru**, prof. redactor șef.

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE
SERIA A
Volumul VIII, nr. 3 martie 1971

BIBLIOTECA „ASTRA"
STB PU

METODE ANALITICE DE ANALIZĂ A URMELOR DE ELEMENTE

Asistent *RUSU VIORICA* I. P. B.

Introducere

Rolul tot mai crescînd pe care-l joacă cantităţi foarte mici de elemente în sisteme chimice, fizice şi biologice au stimulat în mare măsură dezvoltarea domeniului folosirii diferitelor metode analitice pentru aceste elemente. Noile cerinţe puse analizei, datorate cantităţilor mici de elemente ce urmează să fie determinate şi sistemele complicate ce se analizează, au determinat dezvoltarea unor aparaturi specializate şi a unei metodologii corespunzătoare şi în legătură cu acestea, dezvoltarea unui domeniu de sine stătător — *chimia analitică a elementelor în urme.*

Însăşi noţiunea de „urmă" se modifică în dependenţă cu problema de rezolvat. Valorile concrete ale urmelor nu pot fi mărimi constante, determinate. Ele depind de sensibilitatea reacţiilor sau metodelor folosite, de perfecţionarea aparaturii şi de alţi factori, cum şi de cerinţele impuse materialului respectiv.

Ne interesează atît greutatea probei luate în analiză cît şi procentul de constituent din probă.

Este raţional să se considere că concentraţiile care depăşesc 10^{-3} moli/l reprezintă domeniul concentraţiilor mari (macroconcentraţii), concentraţiile din domeniul $10^{-3} - 10^{-6}$ mol/l reprezintă microconcentraţiile, $10^{-6} - 10^{-9}$ mol/l ultramicroconcentraţiile, iar 10^{-9} mol/l şi mai mici, constitue submicroconcentraţii.

O diferenţă netă a acestor noţiuni bineînţeles nu avem, ea depinzînd de elementul care se determină, de metoda de analiză şi de mersul acesteia.

Metodele determinării urmelor pot avea caracteristici atît ale micro cît şi ale macrometodelor.

Alegerea metodei de determinare a urmelor de elemente

În alegerea metodei pentru analizele de urme, dacă elementele sau compuşii care pot interfera sînt absenţi sau pot fi îndepărtaţi sau mascaţi, dacă speciile de determinat pot fi concentrate treptat pînă la limită, dacă se poate face o schiţă rezonabilă a instrumentelor analitice, atunci este bine să se aleagă metoda care detectează cantităţile cele mai mici din speciile respective.

Această alegere nu este uşoară, principala cauză fiind aceea că metodele de urme pentru cele mai multe materiale, cu excepţia elementelor, nu pot fi comparate critic. În acelaşi timp, cînd chimistul încearcă, studiind literatura, să găsească metoda cu care să determine cea mai mică cantitate este împiedicat de faptul că sînt folosiţi termeni variaţi pentru a exprima cît de mică este cantitatea de material pe care metoda o poate determina.

Un criteriu foarte important la alegerea unei metode adecvate pentru determinarea urmelor de elemente este sensibilitatea, precizia şi reproductibilitatea şi de asemenea selectivitatea.

II. A. *Sensibilitatea*

Noţiunea de sensibilitate în chimie reflectă posibilitatea uneia sau alteia din metode de a decela „diferenţa între cantităţi foarte mici de substanţă". Într-un înţeles mai special această noţiune se foloseşte la cantităţi foarte mici de substanţă sau concentraţii care pot fi detectate în general, şi-n acest caz se foloseşte termenul „limita inferioară de detecţie".

Noţiunea de „limită inferioară de detecţie" se bazează pe posibilitatea determinării diferenţei între semnalul util al elementului de determinat şi semnalul probei martor. Mărimea acestei diferenţe depinde de tipul de legătură între semnalul de măsurat şi cantitatea de element prezentă.

Limita de detecţie a unei metode date se poate exprima în două moduri:

Limita absolută — cantitatea minimă decelabilă, exprimată în micrograme (10^{-6} g), nanograme (10^{-9} g), picograme (10^{-12} g).

Limita relativă — concentraţia minimă decelabilă, exprimată în procente de părţi per milion (în greutate sau atomice), micrograme per gram, micrograme per mililitru, etc. Această limită se exprimă de obicei în raport cu întreaga masă a probei în unităţi adecvate analiticii, în dependenţă de metodele de analiză sau de scopul analizei.

Recenzia literaturii dovedeşte că nu există o noţiune netă, determinată a limitei de detecţie pentru diferitele metode analitice. De aceea este deosebit de greu să se compare limitele de detecţie pentru diferite metode analitice. Deseori această nedeterminare îngreunează alegerea metodei adecvate de determinare a urmelor pentru rezolvarea unei probleme analitice complete. Este de mirare că analiştii s-au împăcat cu această situaţie, cînd era clar că există o metodă comodă de standardizare a limitei de detecţie independentă de metodele instrumentale concrete şi aplicabilă tuturor metodelor de analiză. Bazele standardizării sînt analizate în cele ce urmează şi ajută la stabilirea limitei de detecţie.

În toate determinările analitice, indicaţiile înregistratorului la calculatorul greutăţii sau la orice alt aparat sînt o măsură a cantităţii elementului de dozat. În cazul folosirii metodelor bazate pe reducerea semnalului cu creşterea concentraţiei se consideră întotdeauna proba martor pentru stabilirea valorii semnalului iniţial, la un nivel determinat (de exemplu la nivelul 100%).

Cantitatea de element de determinat în acest caz se apreciază în raport cu scăderea semnalului. Dacă pe măsura creşterii conţinutului de element de determinat semnalul suferă o creştere, se pot folosi două metode de înregistrare a semnalului. Astfel în cazul înregistrării electronice, semnalul elementului de determinat se compară cu semnalul fondului sau cu semnalul probei martor. În cazul înregistrării fotografice rezultatele analizei se obţin pe baza măsurării înnegririi şi din nou semnalul elementului de determinat se compară cu semnalul fondului. În acest fel în cazurile obişnuite înregistrarea diferenţei între aceste două semnale determină cantitatea de substanţă prezentă, dacă în apropierea limitei de detecţie aceste două semnale sînt comparabile ca mărime.

Există și cazuri cînd semnalul util este imposibil de diferențiat de semnalul de fond. În aceste cazuri pentru a aprecia obiectiv valoarea diferenței semnalului util și a celui de fond se utilizează metode statistice. Kaiser și Specher au propus o metodă adecvată de apreciere a diferenței semnalului.

Înainte de toate este necesar să se deceleze și să se îndepărteze toate cauzele care determină erori ale măsurătorilor. Aceste erori se împart în două grupe : erori de reproductibilitate, care sînt erori întîmplătoare și erori de metodă, care sînt erori sistematice.

Putem vorbi de erori întîmplătoare cînd o serie de măsurători sînt bine definite și limitate, cînd o cantitate variabilă aparținînd acestui grup va lua o valoare dependentă de șansă ; o astfel de variabilă avînd denumirea de variabilă întîmplătoare. E posibil să cunoaștem că valoarea cantității variabile depinde de întîmplare numai în cazul cînd e imposibil să prevedem stadiul final pornind de la un stadiu inițial. O astfel de situație se petrece total cînd nu putem descrie exact starea inițială a sistemului sau cînd legile la care e supus sistemul nu sînt cunoscute suficient. Atunci cînd aceste legi sînt cunoscute foarte bine, dar sînt foarte complexe, un calcul devine imposibil.

Erorile sistematice sînt erori datorate unui sau mai multor factori ce operează după anumite legi. Pentru a stabili existența unor erori sistematice cu o anumită certitudine, trebuie să cunoaștem aceste legi. În acest caz eroarea sistematică e considerată ca o corecție adusă măsurătorii.

Împărțirea erorilor în sistematice și întîmplătoare e relativă, ea depinzînd de grupul de măsurători pe care-l luăm în considerare cît și de problemele de analizat puse în fața cercetătorilor.

În primul rînd este necesar să se deceleze și îndepărteze toate cauzele care determină erori sistematice ale măsurătorilor, iar dispersia rezultatelor să fie determinată numai de erori întîmplătoare, necontrolabile. Dispersia erorilor întîmplătoare trebuie să se supună legii normale de dispersie (legea lui Gauss). Respectarea primei cerințe se verifică prin metodele descrise de Calder, Yolden sau Nalimov. Dacă dispersia rezultatelor este datorată numai erorilor întîmplătoare atunci legea lui Gauss este respectată cu strictețe.

Dacă deviația standard a rezultatelor măsurătorilor semnalelor probei martor este s_b, valoarea medie a acestui semnal este $\bar{x}_b$, atunci după Kaiser și Specher diferența minimă decelabilă între valoarea medie a semnalului elementului ce interesează $\bar{x}$ și valoarea medie a semnalului probei martor este determinată de :

$$\bar{x} - \bar{x}_b = K\sqrt{2}\, s_b \qquad (1)$$

unde K = constantă ce depinde de gradul de veridicitate cerut analizei.

Utilizarea unui astfel de criteriu de determinare a diferenței semnalelor se bazează pe presupunerea că s_b este, cu bună aproximație, eroarea-absolută standard pentru obținerea căreia sînt necesare 10 sau mai multe măsurători x_b.

Valoarea s_b se calculează după formula :

$$s_b = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(x_i - \bar{x}_b)^2}{n-1}} \qquad (2)$$

unde x_i — valoarea măsurătorii de ordin i din n măsurători.

Prin urmare valoarea K este legată cu o probabilitate cunoscută de dispersia normală probabilă. Valoarea K poate fi egală cu 1,00; 1,96 şi 3,00 pentru gradul de precizie corespunzător 68,3; 95 şi 99,7.

În legătură cu aceasta trebuie menţionat că semnalul util trebuie să difere de semnalul probei martor cu o diferenţă standard. După Kaiser această diferenţă trebuie să conste în ultimă instanţă în patru deviaţii standard. În cazul utilizării criteriului ASTM avem o şansă din trei să greşim la determinarea limitei de detecţie în comparaţie cu o şansă din 200 în cazul altor criterii.

Măsurarea valorii semnalului util şi al probei martor se poate privi ca măsurătoare pară deoarece măsurătorile acestea se efectuează concomitent sau consecutiv. Pentru a deosebi semnalul util de semnalul probei martor este de dorit să se efectueze trei măsurători, aceasta fiind legat de faptul că:

$$\sigma_n = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \tag{3}$$

unde σ_n şi σ sînt respectiv erori standard ale determinării singulare şi media din n determinări.

Măsurători paralele posedă deviaţii neînsemnate ale semnalelor şi se consideră că aceste deviaţii sînt dispuse normal şi independent faţă de diferenţa medie absolută μ_d şi a dispersiei absolute σ_d^2.

Pentru a deosebi semnalul util de semnalul probei martor este necesar a dovedi că diferenţa medie este mult mai mare decît 0. (2) Pentru aprecierea diferenţei reale μ_d, se utilizează de obicei valoarea medie a măsurătorii diferenţei.

$$\overline{D} = \sum_{i=1}^{n} \frac{D_i}{n} = \bar{x} - x_b \tag{4}$$

unde D_i — diferenţa între membrii măsurătorii de ordin i.

Analog, deviaţia absolută standard se determină prin expresia:

$$s_b = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} D_i^2 - \frac{(\Sigma D_i)^2}{n}}{n(n-1)}} \tag{5}$$

Alegînd gradul de precizie pentru aprecierea valorii diferenţei, analistul trebuie să elucideze problema dacă va trage concluzii cu risc minim de eroare sau va indica limita cea mai bună de detecţie, dar cu riscuri mari de eroare. Prin alegerea gradului de precizie trebuie să se considere factori diferiţi; este foarte important totuşi ca împreună cu datele privind limita de detecţie a oricărei metode să se indice mereu şi caracteristicile gradului de precizie şi metoda de apreciere a valorii diferenţei semnalului util şi a semnalului probei martor.

În literatură se observă o discordanţă însemnată privitor la limita de detecţie, cu atît mai mult fiind foarte valoroasă compararea acestei limite obţinute prin metode folosite frecvent pentru determinarea urmelor de elemente (în special date obţinute în diverse laboratoare).

Limita de detecţie — reprezintă cantitatea limită de element, în greutate necesară pentru obţinerea diferitelor semnale.

Cea mai folosită definiție a detectabilității este dată de J. E. Barney:

$$D = \lim_{\Delta Q \to 0} \left[\frac{2S_I}{\left(\frac{\Delta I}{\Delta Q} \right)} \right] \tag{6}$$

unde S = deviația standard pentru I, la $Q = Q_n$

ΔI = schimbarea în semnalul produs I

ΔQ = creșterea în material, în unități corespunzătoare, care produce ΔI.

Dacă S_I este independentă de I, atunci ecuația (6) devine:

$$D = \frac{2S_I}{S_0} \tag{7}$$

unde S_0 = limita de sensibilitate

$$S_0 = \lim_{\Delta Q \to 0} \left(\frac{\Delta I}{\Delta Q} \right) \tag{8}$$

Aceste criterii vor fi verificate de chimiștii analiști.

II. B. *Precizie și reproductibilitate*

La alegerea între două sau mai multe metode care au o sensibilitate adecvată determinării urmelor, analistul trebuie să aleagă metoda care să aibă o precizie necesară pentru analiză. Erorile absolute sau relative ale rezultatelor analizei caracterizează precizia. Acest termen nu trebuie confundat cu reproductibilitatea rezultatelor analizei. Astfel metoda poate să aibă o reproductibilitate bună însă precizia analizei poate fi slabă dacă în analiză avem erori.

Eroarea măsurării se definește ca abaterea valorii măsurate de la cea reală.

Eroarea absolută (ε) se exprimă prin diferența dintre valoarea precisă și valoarea aproximativă a mărimii studiate:

$$\varepsilon = X - A \tag{9}$$

unde X — valoarea precisă; A — valoarea aproximativă

Eroarea relativă (δ) este egală cu raportul dintre eroarea absolută și valoarea precisă a măsurării date:

$$\delta = \frac{\varepsilon}{X} \tag{10}$$

De obicei eroarea relativă se exprimă în procente. Deoarece calculul erorii absolute nu este posibil, în general se dau limitele preciziei măsurării parametrului respectiv. Precizia măsurării este cea mai mică variație pe care o putem determina cu ajutorul unui aparat dat sau printr-o metodă oarecare în scopul obținerii unor rezultate veridice.

Mărimi aproximative

Dacă sensul erorii absolute nu este cunoscut atunci se presupune că se produce evenimentul cel mai nefavorabil, adică toate erorile absolute au unul și același sens.

Pentru calculul erorii absolute se însumează:

$$\varepsilon = \pm (|\varepsilon_1| + |\varepsilon_2| + |\varepsilon_3| + \ldots .) \tag{12}$$

În acest caz ε este eroarea limită absolută.

Eroarea relativă a sumei va avea de asemenea o valoare limită:

$$\delta_{lim} = \pm \frac{|\varepsilon_1| + |\varepsilon_2| + |\varepsilon_3| + \ldots .}{A_1 + A_2 + A_3 + \ldots .} \tag{13}$$

Eroarea limită relativă a sumei se află între erorile relative minimă şi maximă:

$$\delta_{max} > \delta_{lim} > \delta_{min} \tag{14}$$

Eroarea limită relativă a diferenţei mărimilor aproximative este egală cu: $\delta_{lim} = \pm \frac{|\varepsilon_1| + |\varepsilon_2|}{A_1 - A_2}$ (15)

Trebuie subliniat că în acest caz se poate obţine o eroare relativă foarte mare, cu diferenţe la erori mici ale termenilor separaţi.

La calculul produsului mărimilor aproximative, eroarea relativă va fi egală cu suma valorilor absolute ale erorilor relative ale tuturor factorilor:

$$\delta_{lim} = \pm (|\delta_1| + |\delta_2| + |\delta_3| + \ldots) \tag{16}$$

Eroarea absolută va fi egală cu:

$$\varepsilon_{lim} = \pm (|\delta_1| + |\delta_2| + |\delta_3| + \ldots) \times (A_1 + A_2 + A_3) + \ldots .) \tag{17}$$

În calculul unui cît, pentru două mărimi se va scrie:

$$\delta_{lim} = \pm (|\delta_1| + |\delta_2| + \ldots . + |\delta_n|) \tag{18}$$

şi

$$\varepsilon_{lim} = \pm \delta_{lim} \times \frac{A_1}{A_2} \tag{19}$$

Pentru ridicarea la putere: $\delta_p = \pm n\delta$ (20)

în care n — puterea; δ — eroarea relativă a bazei.

Eroarea absolută în acest caz se calculează după relaţia:

$$\varepsilon_p = \pm n \times A^{n-1} \times \varepsilon \tag{21}$$

unde A — mărimea aproximativă,

ε — eroarea absolută a bazei

sau:

$$\varepsilon_p = \pm n \times \delta \times A^n \tag{22}$$

La extragerea rădăcinii, eroarea relativă va fi egală cu:

$$\delta_r = \pm \frac{1}{n} \times \delta \tag{23}$$

iar eroarea absolută:

$$\varepsilon_r = \pm \frac{1}{n} \times A^{\frac{1}{n}} \times \delta \tag{24}$$

În calculul erorii care afectează rezultatul final sînt necesare următoarele considerații: 1) precizia rezultatului final nu poate fi mai mare decît precizia uneia din măsurătorile intermediare; 2) eroarea rezultatului este determinată în principal de precizia măsurătorii celei mai puțin exacte.

În cazul cînd mărimea măsurată sau calculată este funcție de cîteva variabile este indicat să se utilizeze calculul diferențial.

Cazul 1. *Funcția de o variabilă independentă*: $y = f(x)$

Eroarea absolută este egală cu produsul dintre eroarea absolută a argumentului și derivata acestei funcții:

$$\varepsilon_y = \pm \varepsilon_x \times f'(x) \tag{25}$$

Eroarea relativă a funcției este egală cu diferențiala logaritmului acestei funcții:

$$\delta_y = \pm d \ln f(x) \tag{26}$$

Cazul 2. *Funcția de două variabile independente*: $y = f(x_1, x_2)$

Eroarea absolută este egală cu suma valorilor absolute ale diferențialelor parțiale ale acestei funcții:

$$\varepsilon_y = \pm \left\{ \left| \frac{\partial \ln f(x_1, x_2)}{\partial x_1} dx_1 \right| + \left| \frac{\partial \ln f(x_1, x_2)}{\partial x_2} dx_2 \right| \right\} \tag{27}$$

Eroarea relativă este egală cu diferențiala logaritmului acestei funcții:

$$\delta_y = \pm d \ln f(x_1, x_2) \tag{28}$$

Cazul 3. *Funcția de n variabile independente*: $y = f(x_1, x_2, \ldots x_n)$

Eroarea absolută limită $(\varepsilon_y)_{lim}$ este egală cu suma valorilor absolute ale tuturor diferențialelor parțiale ale acestei funcții. Eroarea relativă limită $(\delta_y)_{lim}$ este egală cu diferențiala logaritmului acestei funcții.

Indicatori de precizie ai măsurătorilor

Dacă mai multe măsurări ale aceleiași mărimi se efectuează cu aceeași precizie, atunci valoarea ei cea mai probabilă este media aritmetică. Deseori precizia măsurătorilor se determină cu ajutorul a 3 indicatori: eroarea medie patratică, eroarea probabilă și eroarea medie a măsurării.

Eroarea medie patratică σ, este:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\Sigma \varepsilon_i^2}{n-1}} \tag{29}$$

unde ε_i = abaterea rezultatelor măsurătorilor separate de la media lor aritmetică $= x_i - \bar{x}$; $(n-1)$ — se poate defini ca numărul de măsurători independente din care se scade numărul de relații impuse acestor măsurători.

Cînd considerăm n valori observate $x_1, x_2 \ldots x_n$, ale variabilei întîmplătoare, expresia de sub radical se numește varianță:

$$S_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \tag{30}$$

Calcularea varianței poate fi simplificată dacă dezvoltăm binomul:

$$\sum_{i=1}^{n}(x_i-\overline{x})^2=\sum_{i=1}^{n}(x_i^2-2x_i\overline{x}+\overline{x}^2)=\sum_{i=1}^{n}x_i^2-\frac{2\sum_{i=1}^{n}x_i}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i+\frac{\left(\sum_{i=1}^{n}x_i\right)^2}{n}=$$

$$=\sum_{i=1}^{n}x_i^2-\frac{\left(\sum_{i=1}^{n}x_i\right)^2}{n}$$

Varianța va fi în acest caz:

$$S_x^2=\frac{\sum_{i=1}^{n}x_i^2-\frac{\left(\sum_{i=1}^{n}x_i\right)^2}{n}}{n-1} \tag{31}$$

iar eroarea medie patratică σ va fi:

$$\sigma=\sqrt{S_x^2} \tag{32}$$

Eroarea probabilă ρ, împarte toate erorile întîmplătoare ale unui șir dat de măsurări în două părți egale astfel încît într-o parte se află $\frac{n}{2}$ erori întîmplătoare mai mari decît eroarea probabilă ρ, iar în cealaltă parte $\frac{n}{2}$ erori întîmplătoare mai mici decît ρ:

$$\rho=\pm 0{,}6745\sqrt{\frac{\Sigma\varepsilon_i^2}{n-1}} \tag{33}$$

Eroarea medie η a unei măsurări oarecare este media aritmetică a valorilor absolute ale tuturor erorilor întîmplătoare dintr-un șir n de măsurători:

$$\eta=\pm 0{,}8\sqrt{\frac{\Sigma\varepsilon_i^2}{n-1}} \tag{34}$$

La evaluarea preciziei finale a măsurătorilor se obișnuiește să se dea, nu valoarea diferitelor măsurări, ci eroarea mediei lor aritmetice, adică eroarea rezultatului final al măsurării:

$$\sigma_A=\sqrt{\frac{\Sigma\varepsilon_i^2}{n(n-1)}} \tag{35}$$

Eroarea probabilă a mediei aritmetice este:

$$\rho_A=\pm 0{,}6745\sqrt{\frac{\Sigma\varepsilon_i^2}{n(n-1)}}\ ;\ \rho_A=\pm\frac{\rho}{\sqrt{n}} \tag{36}$$

Pentru evaluarea preciziei măsurătorilor este mai ușor să se calculeze eroarea medie a unei măsurători oarecare; dacă măsurările s-au efectuat cu mare precizie, în acest caz se determină eroarea patratică sau eroarea probabilă a mediei aritmetice.

În alegerea metodei de cercetare este necesar să apreciem cît mai exact erorile efectuate în determinarea parametrilor studiaţi, atît pentru a determina eroarea totală, cît şi pentru găsirea căilor de mărire a preciziei determinărilor.

Sînt două posibilităţi de decelare a erorilor sistematice: metoda de calibrare empirică şi metoda statistică.

Deoarece metodele de analiză instrumentală se calibrează de obicei utilizînd standardele sintetice cu un conţinut cunoscut sau folosirea probelor analizate prin alte metode independente, atunci la erorile sistematice se pot introduce corecţii. Această metodă care consideră erorile sistematice presupune că concentraţia elementelor în standarde este cunoscută cu un grad de precizie ridicat şi că prepararea prealabilă a probelor şi etaloanelor este aceeaşi sau că probele şi standardele sînt trecute în una şi aceeaşi stare. Totuşi în cazul determinării urmelor sau a ultraurmelor sînt unele insuficienţe în cazul standardelor adecvate. Cauzele unei astfel de situaţii sînt: greutatea obţinerii uniformităţii standardelor analizate sau pregătite şi necesitatea utilizării unor măsuri de acurateţă pentru îndepărtarea de impurificări posibile a materialelor cu reactivi sau din mediul înconjurător. Rezultatele determinării urmelor prin metode independente sînt deseori insuficient de precise pentru un anumit grad de precizie solicitat.

Pregătirea standardelor pentru determinarea urmelor este privită în esenţă ca un factor ce limitează şi din această cauză rezolvarea problemei standardelor foloseşte amplificări importante. Dacă lipsesc standardele necesare atunci rămîne o singură ieşire obiectivă, utilizarea metodei statistice de apreciere a erorilor sistematice. Metoda unei astfel de aprecieri a erorilor sistematice este prelucrată de o serie de autori. Dacă eroarea sistematică este eliminată precizia metodei este determinată de eroarea reproductibilităţii.

De aceea prin reproductibilitate în cazul dat se înţelege precizia analizei în lipsa erorilor sistematice.

Aprecierea cantităţii admise în general pentru reproductibilitate foloseşte abaterea relativă standard adică raportul (în procente) abaterii absolute standard la valoarea conţinutului mediu obţinut printr-o serie de măsurători. Reproductibilitatea metodei date depinde de natura verificării şi a controlului diferitelor etape ale analizei. Studierea diferitelor metode de determinare a urmelor a arătat că reproductibilitatea se modifică în limite foarte largi.

Astfel abaterea relativă limită în metodele optice şi spectrale este 1—3%. Abaterea standard a metodelor cu o a doua sursă de curent continuu este 15—20%. Asupra reproductibilităţii influenţează de asemenea omogenitatea probei, metoda aducerii probei în soluţie, procesele de excitare şi extincţie, stabilitatea receptoarelor la iradiere (electronice sau fotografice). Diferitele metode analitice au un grad definit de reproductibilitate şi anume toate metodele de determinare a urmelor elementelor au o limitare generală: în măsura apropierii de limita de detecţie mărimea semnalului obţinut tinde către valoarea abaterii ocazionale a acestui semnal. După cum este normal abaterile relative sînt mai mari în apropierea limitei de detecţie. Deoarece reproductibilitatea determină precizia analizei în lipsa erorilor sistematice este interesantă, în astfel de cazuri, aprecierea corectă a însăşi reproductibilităţii.

Calculul abaterii standard pentru fiecare cursă gradient ar da o informare completă, însă deseori prin aceasta se obțin date contradictorii dacă numărul măsurătorilor pentru fiecare valoare a concentrației este insuficient de mare. Greutăți apar și din faptul că un număr mic de determinări nu prezintă siguranța în calcularea maximă ce caracterizează reproductibilitatea.

O apreciere mai exactă se poate obține din date ale determinărilor reproductibilității la nivelul limitei de detecție (în acest caz, date privind reproductibilitatea sînt necesare pentru determinarea a însăși limitei de detecție), și din calcularea valorii medii a deviației standard.

La calculul acestei mărimi, serii singulare de măsurători și pentru diferite diapazoane de concentrații, se consideră independente în conformitate cu relația:

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{s_i}{N - K}} \tag{37}$$

unde N — nr. mediu de măsurători; K — nr. seriei de măsurători.

Valoarea obținută a abaterii standard se raportează la întregul diapazon de concentrații, sau la anumite porțiuni diferite din acest diapazon, alese astfel ca numărul măsurătorilor în fiecare porțiune să fie aproximativ același.

În ultimul caz, pentru fiecare porțiune se calculează valori singulare s_{cp} care se utilizează apoi la obținerea nivelului de precizie pentru diferite intervale de concentrații corespunzătoare diferitelor porțiuni ale scalei de concentrații, pentru verificarea omogenității dispersiei.

În unele metode pentru determinarea urmelor elementelor, la ieșirea schemei de înregistrare se folosesc aparate de numărat (de exemplu în metodele cu radioizotopi și roentgenografice).

În acest caz răspîndirea rezultatelor măsurătorilor este redată de asemenea foarte bine de legea lui Gauss, care este o distribuție continuă a cărei densitate de probabilitate este:

$$\frac{d\psi}{dx} = \varphi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \tag{38}$$

unde x = variabila întîmplătoare

μ = parametru de distribuție coresp. mediei

σ = „ „ „ „ „varianței.

Valoarea medie a variabilei întîmplătoare cu o distribuție continuă este dată de expresia:

$$\mu = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} x\varphi(x)\,dx}{\int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(x)\,dx} = \int_{-\infty}^{+\infty} x\varphi(x)\,dx \tag{39}$$

Varianța este dispersia variabilei întîmplătoare față de medie și în cazul distribuției continue este dată de relația:

$$\sigma^2 = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} (x_i - \mu)^2 P(x_i) \tag{40}$$

Cantitatea constantă $\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$, din relația (38) este astfel aleasă încît raportul din această relație este normalizat așa fel încît variabila întîmplătoare să aibă probabilitatea egală cu 1 de a se găsi în intervalul $[\infty\,;\,+\infty]$

Dacă facem o reprezentare grafică, aria delimitată de această curbă care definește densitatea de probabilitate, va fi egală cu 1 pentru orice valori ale parametrilor μ și σ.

Porțiunea din suprafață cuprinsă între curba $\psi(x)$, abscisă și ordonatele ce trec prin x_1 și x_2, corespunde probabilități ca variabila întîmplătoare x, să se găsească în intervalul $x_1 < x < x_2$ adică :

$$\psi(x_2) - \psi(x_1) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{x_1}^{x_2} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}\, dx \tag{42}$$

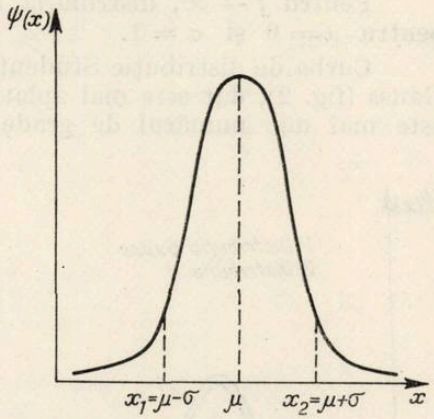


Fig. 1 Distribuția Gauss

Curba $\psi(x)$ este perfect profilată și simetrică față de valoarea $x = \mu$, are două puncte de inflexiune la valorile $\mu \pm \sigma$ și se apropie asimptotic de abscisă. Forma curbei depinde de valoarea erorii medii patratice. Cu cît abaterea medie patratică este mai mare cu atît curba este mai aplatisată, iar pentru valori mai mici curba va deveni mai ascuțită.

Efectuînd un număr oarecare, finit, n, de experiențe identice nu se poate obține valoarea precisă a parametrilor μ și σ, ci numai evaluările lor (respectiv m și s) :

$$\mu \approx m = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i \tag{42}$$

$$\sigma^2 \approx s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} (x_i - m)^2} \tag{43}$$

cu atît mai precise cu cît este mai mare valoarea lui n. În cazul unei valori mici a lui n, evaluările m și s sînt și ele supuse fluctuațiilor statice și dacă se identifică m cu μ și s cu σ, concluzia asupra intervalului de încredere va fi mult prea optimistă.

Metoda de evaluare a parametrilor de distribuție cu ajutorul unor trieri mici a fost pusă la punct de chimistul englez Gosset, care a înlocuit expresia de calcul pentru eroare medie patratică cu expresia :

$$t = \frac{x - \mu}{S_x/\sqrt{n}} \tag{44}$$

Densitatea de probabilitate a distribuţiei t a lui Student va fi dată de formula:

$$\varphi(t) = \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot f}} \times \frac{V\left(\frac{f+1}{2}\right)}{V\left(\frac{f}{2}\right)} \times \left(1 + \frac{t^2}{f}\right)^{-\frac{t+1}{2}} \qquad (45)$$

unde $(-\infty < t < +\infty)$, $f = n - 1$ — numărul de grade de libertate, iar $V(f)$ — funcţia Gauss).

Pentru $f \to \infty$, distribuţia t devine identică cu distribuţia Gauss pentru $\mu = 0$ şi $\sigma = 1$.

Curba de distribuţie Student are aceeaşi formă simetrică ca şi curba Gauss (fig. 2), dar este mai aplatisată şi anume cu atît mai mult cu cît este mai mic numărul de grade de libertate (fig. 3).

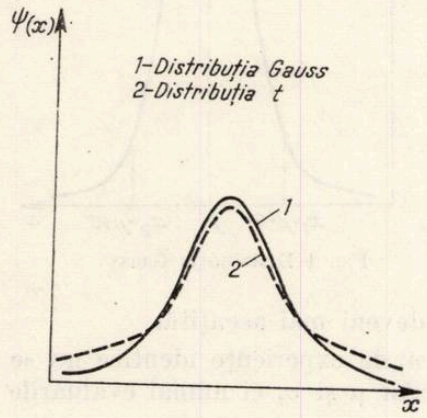


Fig. 2

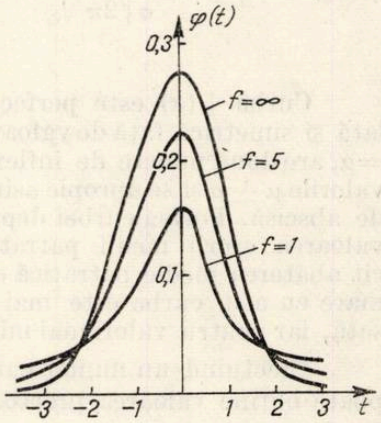


Fig. 3

Respectiv, cu cît s-a efectuat un număr mai mic de experienţe identice cu atît este mai mare probabilitatea ca rezultatul experienţei următoare să difere de rezultatul mediu al celor m experienţe efectuate printr-o valoare mai mare decît o anumită valoare fixată.

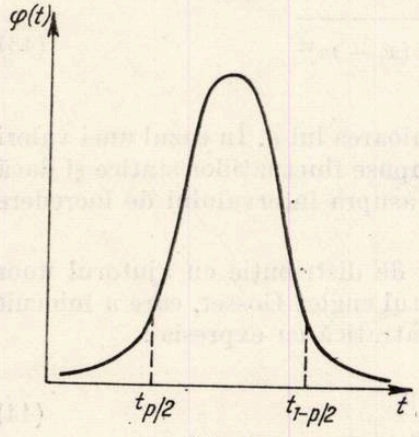


Fig. 4

Probabilitatea ca variabila t să fie cuprinsă în intervalul $t_{p/2} < t < t_{1-p/2}$ este arătată de curba din fig. 4.

Din simetria curbei de distribuţie urmează că $t_{1/2} = -t_{1-p/2}$ deci probabilitatea $P\,(t_{p/2} < t < t_{1-p/2})$ este:

$$P = \int_{-\infty}^{t_{p/2}} \varphi\,(t)\mathrm{d}t + \int_{t_{1-p/2}}^{+\infty} \varphi\,(t)\mathrm{d}t =$$

$$= 2\int_{-\infty}^{t_{p/2}} \varphi\,(t)\mathrm{d}t = 2\int_{t_{1-p/2}}^{+\infty} \varphi\,(t)\mathrm{d}t \qquad (46)$$

Plecînd de la această relaţie se ajunge la următoarea funcţie de probabilitate :

$$P\left(t_{p/2} < \frac{\bar{x} - \mu}{Sx/\sqrt{n}} < t_{1-p/2}\right) = 1 - p. \qquad (47)$$

Rezolvînd în funcţie de μ, obţinem limitele de încredere în funcţie de μ :

$$P\left(\bar{x} - \frac{t_{p/2}\, Sx}{\sqrt{n}} > \mu > \bar{x} - \frac{t_{1-p/2} \times Sx}{n}\right) = 1 - p. \qquad (48)$$

Probabilitatea P luată ca bază în analiza statistică are denumirea de nivel de încredere ; în aplicarea ei se foloseşte ca referinţă un criteriu riguros de 5 %.

Alegerea limitei de 5 % pentru evaluarea semnificaţiei este evident arbitrară. Dacă însă t se găseşte sub limita de 5 % aceasta nu înseamnă că modificarea condiţiilor experimentale nu influenţează valoarea sa, ci arată numai că această influenţă nu poate fi apreciată sigur la precizia de experimentare dată, deoarece probabilitatea modificării rezultatelor datorită fluctuaţiilor este prea mare.

În cazul măririi preciziei (micşorarea lui s) importanţa divergenţei dintre cele două serii de măsurători poate fi pusă în evidenţă.

II. C. *Selectivitate*

La determinarea urmelor de elemente o importanţă deosebită o au impurităţile.

În măsurătorile cantitative se consideră că semnalul elementului de determinat este pur, bruierea acestui semnal este minimă, putînd fi eliminată. Astfel fondul probei sau urmelor altor elemente pot modifica semnalul elementului de determinat. Bruiajul poate apărea şi în însăşi procesul de analiză, de exemplu fondul ce însoţeşte sau compusul care se formează în cadrul procesului chimic însăşi sau prin interacţiunea fizică a probei.

Părţile componente ale probei şi compuşii ce însoţesc proba împiedică de asemenea măsurătorile semnalului de determinare, al elementului.

În sens strict analitic, selectivitatea, sensibilitatea şi precizia sînt interdependente.

Condiţia de bază pentru atingerea unei sensibilităţi ridicate este obţinerea unui raport la fond (semnal la fond sau semnal util la semnalul probei martor). Semnalul extern poate micşora în mare măsură acest raport şi prin urmare micşorează sensibilitatea analizei.

Dacă bruiajul semnalului nu este îndepărtat sau capturat, aceasta se va reflecta la precizia care va depinde de gradul de bruiaj şi de cantitatea de element ce deranjează. Corecţii privind „paraziţi" neîndepărtaţi cunoscuţi influenţează precizia analizei, deoarece erorile la determinarea mărimii acestui bruiaj se însumează la precizia generală a metodei.

Interesant este să se aleagă o metodă de determinare a urmelor care să permită măsurarea fără bruiaj a semnalului util. Totuşi metode mai puţin selective au unele avantaje, de aceea analiştii se folosesc de multe alte metode care au sensibilitatea necesară.

Într-un număr limitat de cazuri se poate calcula bruiajul prin prelucrarea matematică a datelor analizei în situaţia că semnalul deranjant este mai mic decît semnalul elementului de determinat.

În cazuri mai generale mersul rezolvării problemei constă în optimizarea diferiților parametri și a metodelor instrumentale, pentru limitarea sau îndepărtarea bruiajului.

Selectivitatea se poate ridica prin utilizarea unei surse adecvate de lumină, a unui sistem de dispersie, ș.a.m.d.

Astfel se poate utiliza spectrul de executare selecționat pentru limitarea paraziților ce deranjează. Este posibil, pentru o rezolvare ideală a problemei, să utilizăm un dispozitiv de dispersie care să posede o capacitate de rezoluție suficientă pentru îndeplinirea problemei analitice date. Creșterea capacității de rezoluție permite separarea semnalului mai pur, iar aceasta înseamnă că scade semnalul adus de fond și semnalul elementului deranjant și crește raportul semnal util : semnal impuritate. Totuși de la o anumită valoare o creștere mai departe a capacității de rezoluție nu mărește sensibilitatea analizei.

O metodă mai eficientă de îmbunătățire a selectivității este separarea chimică a probei înaintea efectuării măsurătorii și cînd e posibil, folosirea agenților de mascare. Totuși un astfel de mers lungește timpul de analiză, crește probabilitatea pierderii elementului de determinat sau duce la impurificarea probei.

Sensibilitatea, precizia, reproductibilitatea și selectivitatea sînt factori de bază cu care se operează la alegerea metodei de determinare a urmei elementelor. La alegerea finală a metodei se iau în considerație aspecte practice ce au importanță numai în laboratorul dat.

Luînd în considerație problemele utilizării și exploatării aparaturie moderne pentru determinarea urmelor este de dorit ca metoda aleasă să permită determinarea unui număr cît mai mare de elemente și să rezolve un număr larg de probleme.

Este clar că nici una din metode nu rezolvă toate problemele legate de prezența urmelor elementelor, însă de obicei se alege metoda cea mai indicată. Toate metodele de analiză se pot clasifica după capacitatea acestora de a da informații asupra conținutului unuia sau a mai multor elemente în fiecare caz concret. Neluînd în considerare faptul că multe metode permit obținerea concomitentă privind conținutul a o serie de elemente, numai analiza spectrală de emisie și analiza masspectrografică cu sursă de scînteie permit determinarea concomitentă a unui număr larg de elemente. Aceste metode sînt deosebit de importante pentru studiul calitativ al probelor necunoscute sau pentru controlul metodelor de purificare a substanțelor. Totuși metoda determinării concomitente a mai multor elemente este mai puțin precisă decît metoda determinării unui singur element în condiții optime.

Un alt factor ce trebuie considerat este timpul necesar determinării, în special în cazul analizei unui mare număr de probe. Uneori ne abatem de la metoda universală de analiză tocmai datorită vitezei de analiză. Popularitatea metodelor de determinare a unui singur element este justificată de viteză și de calitatea analizei.

Alegerea metodei înainte de toate este determinată de necesitățile analizei și de utilizările practice a rezultatelor obținute.

BAZELE ELECTRODINAMICII MACROSCOPICE*

Cercetător principal *N. IONESCU-PALLAS* I.F.A. București

Reforma mecanicii propusă de Wilhelm Weber

Deoarece nu era un secret pentru nimeni faptul că sarcinile electrice în mișcare produc curenți, imediat după apariția lucrărilor lui Ampère s-a pus problema de a se găsi interacția dintre sarcinile electrice, care să poată explica ansamblul fenomenelor electrice și magnetice. În această ordine de idei apare în 1835 propunerea lui Karl Frederick Gauss privind forța dintre sarcini electrice. În 1846 Wilhelm Weber propune o altă lege de interacție dinamică, în care forța derivă dintr-un potențial. Formule mai mult sau mai puțin reușite și mai mult sau mai puțin ciudate au fost de asemenea avansate de alți autori ca B. Riemann (1867), Carl Neumann (1873), R. Clausius (~1880), et. al. Unele formule exprimau forța ca depinzînd nu numai de coordonate și viteze dar și de accelerații. Noi ne vom opri însă asupra teoriei lui Wilhelm Weber care este elaborată potrivit principiilor universale ale mecanicii, astfel încît — cel puțin în sine — ea nu prezintă contradicții. Edificînd această teorie, putem spune că Weber a procedat la o oarecare „reformă" a mecanicii. Am dori să subliniem faptul că aceasta era o „reformă tihnită" care nu zdruncina concepția Newton-iană asupra inerției. Distanța și durata rămîneau mărimi invariabile în raport cu transformările de inerție, iar apriorismul Kantian despre spațiu și timp se bucura în continuare de credit. Pentru a avea asigurate legile de conservare ale mărimilor mecanice, procedăm cu o funcțiune Lagrange în care — spre deosebire de mecanica lui Newton — partea potențială depinde de viteze și, eventual, chiar de accelerații. De asemenea depășind particularitățile proprii teoriei lui Weber, noi vom prezenta o versiune generală, care să constituie o dovadă convingătoare a faptului că mecanica bazată pe grupul de transformări de inerție al lui Galileo Galilei își epuizase posibilitățile de explicare a fenomenelor electrodinamice și ajunsese într-un iremediabil impas. Să considerăm așadar următoarea funcțiune Lagrange :

$$\mathfrak{L} = \frac{1}{2} m_{0_1} \vec{v}_1^{\,2} + \frac{1}{2} m_{0_2} \vec{v}_2^{\,2} - U(r) \left\{ 1 - \frac{1}{c^2} \left(k_1 \vec{v}^{\,2} + k^2 \frac{(\vec{v}\vec{r})^2}{r^2} + k_3 \vec{a}\vec{r} \right) \right\} \quad (40)$$

referitoare la două particule de mase m_{0_1} și m_{0_2}, separate printr-o distanță spațială r și care evoluează sub acțiunea exclusivă a interacției reciproce. Prin $\vec{v}$ și $\vec{a}$ s-au notat viteza, respectiv accelerația relativă, iar prin c constanta electrodinamică. Ecuațiile de mișcare Newtoniene se obțin pe baza principiului variațional al lui Lagrange. Ele sînt :

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} \vec{p}_1 = \vec{F}_1, \quad \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} \vec{p}_2 = \vec{F}_2$$

$$\vec{p}_1 = \frac{\partial \mathfrak{L}}{\partial \vec{v}_1} - \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} \left(\frac{\partial \mathfrak{L}}{\partial \vec{a}_1} \right), \quad \vec{p}_2 = \frac{\partial \mathfrak{L}}{\partial \vec{v}_2} - \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} \left(\frac{\partial \mathfrak{L}}{\partial \vec{a}_2} \right) \quad (41)$$

$$\vec{F}_1 = \frac{\partial \mathfrak{L}}{\partial \vec{r}_1}, \quad \vec{F}_2 = \frac{\partial \mathfrak{L}}{\partial \vec{r}_2}$$

* Urmare din nr. 12/1970

În mecanica lui Weber, impulsurile depind nu numai de viteze ci și de coordonate. De asemenea, forțele depind și de viteze. Se deduc, fără prea mari dificultăți, cele 10 integrale prime ale mișcării:

$$\mathcal{H} = \left(\vec{a}_1 \frac{\partial \mathfrak{L}}{\partial \vec{a}_1} + \vec{v}_1 \vec{p}_1\right) + \left(\vec{a}_2 \frac{\partial \mathfrak{L}}{\partial \vec{a}_2} + \vec{v}_2 \vec{p}_2\right) - \mathfrak{L}$$

energia:

$$W = \frac{1}{2} m_{0_1} \vec{v}_1^2 + \frac{1}{2} m_{0_2} \vec{v}_2 + U(r) + \frac{1}{c^2}\left\{(k_1 - k_3) U(r) \vec{v} + \right.$$

$$\left. + \left(k_2 U(r) - r \frac{\partial U}{\partial r} k_3\right) \frac{(\vec{v}\vec{r})^2}{r^2}\right\} \tag{42}$$

momentul unghiular total:

$$M = \left(\vec{r}_1 \times \vec{p}_1 + \vec{v}_1 \times \frac{\partial \mathfrak{L}}{\partial \vec{a}_1}\right) + \left(\vec{r}_2 \times \vec{p}_2 + \vec{v}_2 \times \frac{\partial \mathfrak{L}}{\partial \vec{a}_2}\right) =$$

$$= \vec{r}_1 \times m_{0_1} \vec{v}_1 + \vec{r}_2 \times m_{0_2} \vec{v}_2 + 2(k_1 - k_3) \frac{U(r)}{c^2} (\vec{r} \times \vec{v}) \tag{43}$$

momentul liniar total:

$$\vec{\mathfrak{L}} = \frac{\partial \mathfrak{L}}{\partial \vec{v}_1} + \frac{\partial \mathfrak{L}}{\partial \vec{v}_2} - \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{\partial \mathfrak{L}}{\partial \vec{a}_1} + \frac{\partial \mathfrak{L}}{\partial \vec{a}_2}\right) = \tag{44}$$

$$= m_{0_1} \vec{v}_1 + m_{0_2} \vec{v}_2$$

mișcarea centrului de inerție:

$$\left(\vec{\mathfrak{R}} - \frac{\vec{\mathfrak{L}}}{m_{0_1} + m_{0_2}} t\right) = \text{constant}, \quad \vec{\mathfrak{R}} = \frac{m_{0_1}}{m_{0_1} + m_{0_2}} \vec{r}_1 + \frac{m_{0_2}}{m_{0_1} + m_{0_2}} \vec{r}_2 \tag{45}$$

Dar, se poate verifica imediat că toate formulele (41—44) pot fi deduse de asemenea din funcțiunea Lagrange alternativă:

$$\mathfrak{L}_{eff} = \frac{1}{2} m_{0_1} \vec{v}_1^2 + \frac{1}{2} m_{0_2} \vec{v}_2^2 - U(r) + \frac{1}{c^2}\left\{(k_1 - k_3) U(r) \vec{v}^2 + \right.$$

$$\left. + (k_2 U(r) - r \frac{\partial U}{\partial r} k_3) \frac{(\vec{v}\vec{r})^2}{r^2}\right\} \tag{46}$$

Cu alte cuvinte, efectul introducerii accelerațiilor în problema dinamică se reduce la considerarea, pe lîngă energia potențială de interacție, și a derivatei spațiale a acestei mărimi. Dacă acum avem în vedere că în electrodinamică, funcția $U(r)$ este dată de formula lui Coulomb $q_1 \cdot q_2/r$, constatăm că inserțiunea accelerațiilor este complet irelevantă. În continuare, să introducem notațiile $k_1 - k_3 = -\frac{1}{2} K_1$, $k_2 + k_3 = -\frac{1}{2} K_2$

și să impunem condiția restrictivă : $K_1 + K_2 = 1$. Energia de interacție între două sarcini în mișcare va avea, în acest caz, expresia :

$$U_{12} = \frac{q_1 q_2}{r} + \frac{q_1 q_2}{c^2 r}\left\{K_1 \vec{v_1}\vec{v_2} + K_2 \frac{(\vec{v_1}\vec{r})(\vec{v_2}\vec{r})}{r^2}\right\} - \frac{1}{2}\frac{q_1 q_2}{c^2 r}\left\{K_1(\vec{v_1}^2 + \vec{v_2}^2) + K_2 \frac{(\vec{v_1}\vec{r})^2 + (\vec{v_2}\vec{r})^2}{r^2}\right\} \quad (47)$$

Primul termen al acestei formule reprezintă, evident, energia Coulombiană. Al doilea termen duce la legea (corectată) Ampère & Helmholtz a energiei de interacție dintre două elemente de curent (pentru aceasta trebuie să trecem mai întîi la interacția între două sarcini infinitesimale δq_1, δq_2 și apoi să ne amintim cîteva definiții, anume : $I = \delta q/\delta t$, $\vec{\delta s} = \vec{v}\delta t$, $I\vec{\delta s} = \vec{\delta q v}$). Al treilea termen (pătratic) apare din impoziția de a îngloba fenomenele electrodinamice în concepția Newtoniană a fizicii. Pentru a nu contrazice faptele empirice, Weber a presupus că în cazul interacției dintre curenți acest termen este foarte mic, dar, așa cum remarcă și H. Poincaré, argumentele lui sînt artificiale și neconvingătoare. Prezența persistentă a acestui termen a marcat pînă la urmă zădărnicia oricărei încercări de conciliere între electrodinamică și mecanica clasică (bazată pe transformările de inerție ale lui Galileo Galilei și Isaac Newton). Să reținem data cînd a început acest conflict : 18 septembrie 1820.

Mecanica relativistă sau invariantivă

Să recapitulăm faptele : la data memorabilă amintită mai sus, Ampère propune — pe baza experiențelor efectuate de el — o formulă pentru forța ce se exercită între două elemente de curent și care nu este invariantă față de transformările de inerție Galilei & Newton. Hermann von Helmholtz înlătură erorile introduse involuntar de Ampère și ajunge la o expresie a energiei de interacție între elementele de curent care, de asemenea, nu este invariantă față de transformările clasice de inerție. Ea este invariantă numai în raport cu rotațiile în spațiul Euclidian cu 3 dimensiuni. O atare mărime care, din punctul de vedere al mecanicii clasice, se bucură numai de o invarianță redusă (rotații) a fost numită de către Octav Onicescu „invariantivă". Electrodinamica a apărut de la bun început ca o teorie „invariantivă". Eforturile depuse de Wilhelm Weber de a face din electrodinamică o știință care să se supună concepției epocii despre spațiu și timp n-au fost încununate de succes. În fața acestei situații grave de „criză a fizicii" rămînea doar o singură cale de urmat, anume să se încerce să se vadă cum ar trebui revizuită mecanica clasică astfel încît, cu tot caracterul invariantiv al electrodinamicii, să existe o acțiune staționară, să fie asigurată existența celor 10 integrale prime ale mișcării, și să se respecte principiul conservării masei. Cu alte cuvinte, trebuia creată ceea ce Octav Onicescu a numit „mecanica invariantivă". Cel care s-a ocupat cel mai mult de acest program fără ca totuși să-l fi realizat pare să fie Hermann von Helmholtz. El acceptă că energia de interacție între două particule avînd sarcinile electrice q_1 și q_2 este dată de formula :

$$E_{inter} = \frac{q_1 q_2}{r}\left\{1 + \frac{1}{c^2}\left(k_1 \vec{v_1}\vec{v_2} + k_2 \frac{(\vec{v_1}\vec{r})(\vec{v_2}\vec{r})}{r^2}\right)\right\} \quad (48)$$

în acord cu legea lui Coulomb și cu legea lui Ampère (corectată tot de către Helmholtz) cu tot riscul implicat de caracterul invariantiv al acestei formule. Dacă mai menționăm faptul că Helmholtz era la vremea sa unul dintre teoreticienii de mîna întîi în domeniul fizicii, precum și faptul că a dedus circumstanțele de racordare la teoria lui Maxwell ($k_1 = 1/2$, $k_2 = 1/2$), ne dăm seama cît de aproape era el de descoperirea teoriei relativității. Dar, bineînțeles, n-a putut depăși o anumită limitare pe care i-o impunea concepția epocii. După cum se știe, mecanica relativistă a fost creată mult mai tîrziu (1905) de către Albert Einstein, nu din analiza contradicțiilor între electrodinamica Ampère & Helmholtz și mecanica clasică, ci din analizarea și rezolvarea contradicției între teoria Maxwell & Lorentz și aceeași mecanică clasică. În cele ce urmează, vom demonstra că rezolvarea contradicțiilor, în cazul variantei de interacție a electrodinamicii (Ampère & Helmholtz), duce la o mecanică nouă pe care o numim „mecanică invariantivă", tot așa cum rezolvarea contradicțiilor în cazul variantei de cîmp a aceleiași electrodinamici (Maxwell & Lorentz) l-a condus pe Einstein la „mecanica relativistă". În sfîrșit, va apărea, în final, evidentă identitatea: „mecanică invariantivă = mecanica relativistă" (49).

Pornim cu următoarea funcțiune Lagrange pentru mișcarea a două particule punctuale avînd sarcinile și masele (q_1, q_2) respectiv (m_{0_1}, m_{0_2}).

$$\mathfrak{L} = F(\vec{\beta}_1^{\,2}, m_{0_1}) + F(\vec{\beta}_2^{\,2}, m_{0_2}) - \frac{q_1 q_2}{r}\left\{1 - \left(k_1 \vec{\beta}_1 \vec{\beta}_2 + k_2 \frac{(\vec{\beta}_1 \vec{r})(\vec{\beta}_2 \vec{r})}{r_2}\right)\right\} \quad (50)$$

unde: $\vec{\beta}_1 = \vec{v}_1/c$, $\vec{\beta}_2 = \vec{v}_2/c$, $\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$, $k_1 + k_2 = 1$, $\vec{\beta}_1^{\,2} = \alpha_1$, $\vec{\beta}_2^{\,2} = \alpha_2$, iar c este constanta electrodinamică. Funcțiunea cinetică F urmează să fie determinată ulterior. Aplicînd procedura variațională standard, se obțin ecuațiile Newtoniene de mișcare:

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\vec{p}_1 = \vec{F}_1, \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\vec{p}_2 = \vec{F}_2 \quad (51)$$

unde:

$$\vec{p}_1 = \frac{\partial \mathfrak{L}}{\partial \vec{v}_1} = 2\frac{\partial F}{\partial \alpha_1}\frac{\vec{v}_1}{c^2} + \frac{q_1 q_2}{c^2 r}\left\{k_1 \vec{v}_2 + \vec{k}_2 \frac{(\vec{v}_2 \vec{r})\vec{r}}{r^2}\right\}, \vec{F}_1 = \frac{\partial \mathfrak{L}}{\partial \vec{r}_1} \quad (52)$$

$$\vec{p}_2 = \frac{\partial \mathfrak{L}}{\partial \vec{v}^2} = 2\frac{\partial F}{\partial \alpha_2}\frac{\vec{v}_2}{c^2} + \frac{q_1 q_2}{c^2 r}\left\{k_1 \vec{v}_1 + k_2 \frac{(\vec{v}_1 \vec{r})\vec{r}}{r^2}\right\}, \vec{F}_2 = \frac{\partial \mathfrak{L}}{\partial \vec{r}_2}$$

Deoarece funcțiunea Lagrange depinde de coordonate numai prin intermediul vectorului distanței relative, rezultă că este respectat principiul acțiunii și reacțiunii: $\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(\vec{p}_1 + \vec{p}_2) = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 0$; $\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{P}$ (constant). (53)

Din (53) și (52) obținem pentru impulsul total expresia:

$$\vec{P} = \left\{\frac{2}{c^2}\frac{\partial E}{\partial \alpha_1} + \frac{k_1}{c^2}\frac{q_1 q_2}{r}\right\}\vec{v}_1 + \left\{\frac{2}{c^2}\frac{\partial F}{\partial \alpha_2} + \frac{k_1}{c^2}\frac{q_1 q_2}{r}\right\}\vec{v}_2 + k_2 \frac{q_1 q_2}{c^2 r^3}[(\vec{v}_1 + \vec{v}_2)\vec{r}]\vec{r} \quad (54)$$

De asemenea, ne convingem uşor că şi energia este dată de o formulă convenţională : $E = \mathcal{H} = (\vec{v}_1\vec{p}_1 + \vec{v}_2\vec{p}_2) - \mathcal{L}$. Rezultă :

$$E = \left(2\alpha_1 \frac{\partial F}{\partial \alpha_1} - F(\alpha_1)\right) + \left(2\alpha_2 \frac{\partial F}{\partial \alpha_2} - F(\alpha_2)\right) +$$

$$+ \frac{q_1 q_2}{r}\left\{1 + \left(k_1 \vec{\beta}_1\vec{\beta}_2 + k_2 \frac{(\vec{\beta}_1\vec{r})\,(\vec{\beta}_2\vec{r})}{r^2}\right)\right\} \tag{55}$$

Menţionăm că prin trecerea de la funcţia Lagrange la funcţia Hamilton, energia coulombiană a suferit o schimbare de semn în timp ce energia amperiană a rămas neschimbată. Aceasta ar putea constitui o motivare formală a faptului că primei mărimi i se atribuie un caracter potenţial, iar celei de a doua unul cinetic. Mergînd mai departe, vom găsi tot fără dificultăţi şi integrala momentului unghiular :

$$\vec{M} = \vec{r}_1 \times \vec{p}_1 + \vec{r}_2 \times \vec{p}_2 \tag{56}$$

Astfel am reuşit să deducem 7 din cele 10 integrale prime ale mişcării, fără a interveni vreo schimbare esenţială.

A mai rămas de găsit integrala mişcării centrului de masă. Deoarece acum, spre deosebire de mecanica lui Weber, impulsul total nu mai respectă formula Newtoniană $m_{0_1}\vec{v}_1 + m_{0_2}\vec{v}_2$, mişcarea centrului de masă (inerţie) nu mai este pur şi simplu o consecinţă a conservării impulsului (momentului liniar). Cu această ocazie se impune şi redefinirea conceptului de masă, astfel încît să satisfacem onorabil cerinţele de principiu ale mecanicii. Vom insera aşadar două funcţiuni M_1 şi M_2, ambele pozitive, pe care le vom numi „mase dinamice" ale particulelor şi cărora le vom impune următoarele constrîngeri :

$$\frac{M_1\vec{r}_1 + M_2\vec{r}_2}{M_1 + M_2} = \vec{R}, \qquad M_1 + M_2 = M \quad \text{(constant)} \tag{57}$$

unde $\vec{R}$ este, la rîndul lui, obligat să satisfacă ecuaţia :

$$\left(M \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\vec{R} = \vec{P}\right) \tag{58}$$

Dacă nu vom ajunge la nici o contradicţie, înseamnă că problema dinamicii particulelor încărcate electric este tranşată. De data aceasta însă, nu va mai fi vorba de o reformă tihnită, ca la Weber, ci de una profundă, revoluţionară, care va afecta concepte de bază ale mecanicii cum sînt masa, energia, distanţa, durata, etc. Cînd particulele sînt izolate de orice acţiune a materiei înconjurătoare precum şi de interacţiunea lor reciprocă, şi se află în repaos în raport cu un sistem de referinţă inerţial, atunci, faţă de acel referenţial, masele dinamice (M_1, M_2) se reduc la masele Newtoniene (m_{0_1}, m_{0_2}). Să derivăm acum prima ecuaţie (57) şi să ţinem seama de a doua ecuaţie (57) precum şi de ecuaţia (58). Ajungem astfel la o nouă expresie a impulsului total :

$$\vec{P} = M_1\vec{v}_1 + M_2\vec{v}_2 + \frac{1}{2}(\dot{M}_2 - \dot{M}_1)(\vec{r}_2 - \vec{r}_1) \tag{59}$$

care seamănă însă cu expresia anterioară (54). Să identificăm cele două formule (şi să avem în vedere şi a doua relaţie (57)). Obţinem :

$$M = \frac{2}{c^2}\frac{\partial F}{\partial \alpha_1} + \frac{2}{c^2}\frac{\partial F}{\partial \alpha^2} + 2\frac{k_1}{c_2}\frac{q_1 q_2}{r} \tag{60}$$

$$\frac{1}{2}\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(M_2 - M_1) = \frac{k_2}{c_2}\frac{q_1 q_2}{r^3}(\vec{v}_1 + \vec{v}_2)\vec{r} \tag{61}$$

Ecuaţia (60) exprimă „integrala primă a masei totale" ceva cu totul nou faţă de mecanica clasică unde conservarea masei reprezintă un fapt banal (masa totală este suma a două constante m_{0_1} şi m_{0_2}). Ecuaţia (61) se mai poate explicita introducînd expresiile maselor dinamice M_1, M_2 (coeficienţii vitezelor în formula (54)) ; în consecinţă, ea capătă forma :

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{\partial F}{\partial \alpha_2} - \frac{\partial F}{\partial \alpha_1}\right) = k_2\frac{q_1 q_2}{r^3}(\vec{v}_1 + \vec{v}_2)\vec{r} \tag{62}$$

Mai departe, să formăm o combinaţie liniară între masă şi energie astfel încît să eliminăm energia Coulombiană :

$$\left(M - 2k_1\frac{E}{c_2}\right) \approx \frac{2}{c^2}\left\{k_1 F(\alpha_1) + (1 - 2k_1\alpha_1)\frac{\partial F}{\partial \alpha_1}\right\} + \frac{2}{c^2}\left\{k_1 F(\alpha_2) + (1 - 2k_1\alpha_2)\frac{\partial F}{\partial \alpha_2}\right\} \tag{63}$$

Am scris semnul de egalitate aproximativă deoarece ar mai fi nişte termeni, de ordin superior în puterile inverse ale constantei electrodinamice, neglijaţi cu această ocazie. Nimic nu ne împiedică însă să facem un efort de abstractizare şi să considerăm egalitatea de mai sus exactă, nu aproximativă. În acest caz am putea presupune că termenii de ordin superior se compensează cu termeni de ordin superior care ar trebui scrişi la funcţia Lagrange (50). Cu alte cuvinte să nu atribuim credit nelimitat formulei Ampère & Helmholtz (48), ci să o considerăm mai degrabă ca o primă aproximaţie. Deoarece atît M cît şi E sînt integrale ale mişcării, sîntem deci în posesia unei integrale a mişcării, scalară, şi care nu conţine decît vitezele particulelor. Aceasta ar putea să aducă mari necazuri dacă ar exista într-adevăr. Să argumentăm această afirmaţie. Începem cu observaţia că, deoarece F este o funcţie universală de argumentele ei, avînd aceeaşi formă pentru orice particulă, ambele mărimi, închise în paranteze în (63) au acelaşi semn şi prin urmare nu se pot distruge reciproc. Dacă mărimile cuprinse în paranteze nu sînt, fiecare în parte, nule, atunci întreaga expresie (63) este diferită de zero. Ea va depinde efectiv de argumentele (α_1, α_2) dacă derivatele parţiale, în raport cu α_1 pentru mărimea din prima paranteză, respectiv faţă de α_2 pentru mărimea din cealaltă acoladă, sînt diferite de zero. Să admitem că aceasta ar fi realitatea şi să ne plasăm în sistemul de referinţă al centrului de masă. În acest referenţial, între α_1 şi α_2 există relaţia liniară aproximativă : $m_{0_1}^2\alpha_1 - m_{0_2}^2\alpha_2 \approx 0$, care permite eliminarea din (63), în aproximaţia nerelativistă, a uneia sau alteia din viteze. Concluzia la care s-ar ajunge astfel ar fi aceea că — în limitele mecanicii clasice — $\vec{v}_1^{\,2}$ şi $\vec{v}_2^{\,2}$ ar fi constante ale mişcării. Coroborînd acest rezultat cu integrala energiei am conclude în plus că şi distanţa relativă

r este o constantă a mişcării. O atare situaţie, cu totul particulară, nu se întîlneşte decît în cazul rotaţiei. Dar noi urmărim fundarea unei mecanici generale, valabilă în circumstanţe largi, compatibile cu existenţa integralelor de mişcare. Pentru a preclude contradicţia semnalată trebue să admitem că pentru orice particulă este satisfăcută o relaţie de forma:

$$k_1 F(\alpha) + (1 - 2k_1\alpha)\frac{\partial F}{\partial \alpha} = \frac{1}{2} a(m_0) c^2 \tag{64}$$

unde $a(m_0)$ este o funcţie, deocamdată nedeterminată, care depinde numai de masa Newtoniană (liberă, de repaus) m_0. Soluţia ecuaţiei (64) se găseşte a fi:

$$F(\alpha) = \frac{1}{2k_1} a(m_0)c^2 + \Lambda(m_0)(1 - 2k_1\alpha)^{1/2} \tag{65}$$

unde $\Lambda(m_0)$ este o funcţie arbitrară de m_0, care a apărut pe post de constantă de integrare la efectuarea operaţiilor în raport cu variabila α. Procedăm la determinarea acestei mărimi. Pentru o particulă nesupusă vre unei interacţii, masa dinamică se obţine din formula:

$$m(\alpha) = \frac{2}{c^2}\frac{\partial F}{\partial \alpha} = -2k_1\frac{\Lambda(m_0)}{c^2}(1 - 2k_1\alpha)^{-1/2}\ ;\ \Lambda(m_0) = -\frac{1}{2k_1} m_0 c^2 \tag{66}$$

(S-a avut aici în vedere relaţia evidentă $m(0) = m_0$).
Este convenabil, în continuare, să introducem combinaţia de constante:

$$C = \frac{c}{\sqrt{2k_1}} \tag{67}$$

cu ajutorul căreia, masa unei particule libere capătă forma:

$$m(v) = \frac{m(0)}{\sqrt{1 - \frac{\vec{v}^2}{C^2}}} \tag{68}$$

iar funcţiunea cinetică Lagrange devine:

$$F = a(m_0)C^2 - m_0 C^2\sqrt{1 - \frac{\vec{v}^2}{C^2}} \tag{69}$$

Purtînd acum rezultatele (67) şi (69) în (63), ajungem la următoarea relaţie între masă şi energie:

$$E = \{M - (a(m_{0_1}) + a(m_{0_2}))\}C^2 \tag{70}$$

Formula (70) trebuie să aibă valabilitate universală, deoarece tocmai un atare caracter pretindem de la mecanică. Ea trebuie deci să fie valabilă şi în următoarea circumstanţă particulară: Cazul a două corpuri punctuale de mase: m_{0_1}, m_{0_2}, sustrase acţiunii materiei înconjurătoare, cu o interacţie reciprocă neglijabilă şi mişcîndu-se — în raport cu un referenţial inerţial dat — cu aceeaşi viteză $\vec{v}$. Este limpede că în acest caz cele două corpuri

pot fi considerate ca un singur corp cu masa $m_{0_1} + m_{0_2}$, ceea ce antrenează, în mod necesar, satisfacerea ecuației funcționale:

$$a(m_{0_1}) + a(m_{0_2}) = a(m_{0_1} + m_{0_2}) \tag{71}$$

Soluția ecuației de mai sus este:

$$a(m_0) = m_0\zeta, \quad \zeta = \text{constantă pură}. \tag{72}$$

Am făcut astfel un pas mai departe, deoarece acum ne-a mai rămas doar determinarea unei constante pentru a putea stabili, în mod definit, o relație între masă și energie:

$$MC^2 - E = \zeta(m_{0_1} + m_{0_2})C^2 \tag{73}$$

Pentru determinarea constantei ζ procedăm în felul următor. Introducem mai întîi conceptul de agregat. Numim agregat un sistem mecanic format din corpuri materiale punctuale care, în raport cu sistemul inerțial de referință definit de condiția anulării impulsului total, se mențin permanent într-o regiune finită a spațiului Euclidian cu trei dimensiuni. În cazul a două corpuri, vizualizarea conceptului ne este oferită de atomul de hidrogen (agregat electrodinamic). În acord cu principiul inerției, putem considera agregatul ca un singur corp material punctual liber, în care este concentrată toată masa M a sistemului (vezi 60) și a cărei poziție este stabilită de vectorul $\vec{R}$ (vezi 57). Deoarece pentru o particulă liberă mărimile dinamice (energie, impuls, masă) sînt legate între ele prin relațiile:

$$E + \zeta m_0C^2 = \frac{m_0C^2}{\sqrt{1 - \frac{\vec{v}^2}{C^2}}}, \quad \vec{p} = \frac{m_0\vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{\vec{v}^2}{C^2}}} \tag{74}$$

$$(E + \zeta m_0C^2)^2 - C^2\vec{p}^2 = (m_0C^2)^2 \text{ (invariant)}$$

(așa cum reiese din analiza de mai înainte aplicată în acest caz), rezultă că pentru agregat trebuie să avem, corespunzător, o relație de forma:

$$(E + \zeta M_0C^2)^2 - C^2\vec{P}^2 = (M_0C^2)^2 \tag{75}$$

în care $\vec{P}$ este impulsul total, E energia totală, iar M_0 „masa de repaos" a agregatului. Prin definiție, masa de repaos (Newtoniană) a unui corp (punctual) se determină în acel sistem de referință inerțial față de care impulsul corpului este zero (referențial propriu). Prin perfectă analogie, pentru agregat, reperul inerțial propriu este determinat de condiția $\vec{P} = 0$ (centrul de masă sau de inerție), iar „masa de repaos", pentru același agregat, va fi dată tot de expresia (60), dar luată față de acest centru de inerție. Scrisă în referențialul centrului de masă, formula (75) devine:

$$E_0 = M_0C^2 - \zeta M_0C^2 \tag{76}$$

Pe de altă parte, raportînd la același reper formula (73), obținem relația alternativă:

$$E_0 = M_0C^2 - \zeta(m_{0_1} + m_{0_2})C^2 \tag{77}$$

Din intercompararea acestor două formule, concludem că ζ trebuie să

satisfacă ecuația :

$$\zeta\{M_0 - (m_{0_1} + m_{0_2})\}C^2 = 0 \tag{78}$$

Dar este limpede că $M_0 - (m_{0_1} + m_{0_2}) \neq 0$, deoarece „masa de repaos" M_0, a agregatului conține, pe lîngă suma maselor de repaos ale celor două corpuri, și o contribuție de origine cinetică precum și una de origine potențială (vezi 60). Singura concluzie care se trage din (78) este așadar :

$$\zeta = 0. \tag{79}$$

Funcțiunea cinetică Lagrange capătă astfel forma definitivă :

$$F = -m_0C^2\sqrt{1 - \frac{\vec{v}^2}{C^2}} \tag{80}$$

Să revenim acum la ecuația (62) pentru a explicita partea dependentă de funcțiunile F. În acest scop scriem mai întîi funcțiunea F în termenii mărimilor originare (c, k_1, α, m_0) apoi efectuăm operațiunile necesare. Obținem succesiv :

$$\chi = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{\partial F}{\partial \alpha_2} - \frac{\partial F}{\partial \alpha_1}\right) = \frac{1}{2}\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{m_{0_2}c^2}{\sqrt{1-2k_1\alpha_2}} - \frac{m_{0_1}c^2}{\sqrt{1-2k_1\alpha_1}}\right) =$$

$$= k_1\left(\frac{m_{0_2}\vec{v}_2\dot{\vec{v}}_2}{[1-2k_1\alpha_2]^{3/2}} - \frac{m_{0_1}\vec{v}_1\dot{\vec{v}}_1}{[1-2k_1\alpha_1]^{3/2}}\right) \approx k_1(m_{0_2}\vec{v}_2\dot{\vec{v}}_2 - m_{0_1}\vec{v}_1\dot{\vec{v}}_1) \tag{81}$$

Dar, în aproximația Newtoniană, ecuațiile de mișcare au forma :

$$m_{0_1}\dot{\vec{v}}_1 \sim -\frac{q_1q_2}{r^3}\vec{r}, \quad m_{0_1}\dot{\vec{v}}_2 \sim +\frac{q_1q_2}{r^3}\vec{r} \tag{82}$$

astfel încît putem transforma mărimea χ pentru a semăna cu omologa ei din (62), anume :

$$\chi = k_1\frac{q_1q_2}{r^3}(\vec{v}_1 + \vec{v}_2)\vec{r} \tag{83}$$

Purtînd acest rezultat în (62), obținem o relație între coeficienții k_1 și k_2 :

$$k_1 = k_2. \tag{84}$$

Cum pe de altă parte acești coeficienți mai satisfac și relația subsidiară $k_1 + k_2 = 1$, rezultă că valorile lor sînt :

$$k_1 = 1/2, \quad k_2 = 1/2 \tag{85}$$

Menționăm că pentru a ajunge la acest rezultat a trebuit să facem anumite aproximații, ceea ce, încă o dată, dovedește faptul că formula Ampère & Helmholtz (48) nu este o formulă absolut exactă. (Vezi discuția privind aproximațiile în cadrul relației 63). Valorile coeficienților (k_1, k_2) trebuie acum introduse peste tot unde intervin. În particular, relația (67) se scrie :

$$C = c. \tag{86}$$

Deoarece, așa cum rezultă din (68), constanta C trebuie interpretată ca o viteză limită pentru corpurile materiale, de care se pot — în principiu — apropia oricît de mult fără a o atinge efectiv, am ajuns la o concluzie

de valoare generală pentru mecanică, adică „Viteza maximă, posibilă, în spaţiul Euclidian tridimensional, în care au loc fenomenele fizice, este (numeric) egală cu constanta electrodinamică“ . Un prim protest care ar putea apare faţă de o atare afirmaţie cu pretenţie de universalitate, ar putea fi formulat cam în felul următor : „Cu ce drept extindem noi un rezultat, obţinut din analizarea exclusivă a unui caz de interacţie electrodinamică, la orice fenomen fizic?” Obiecţia reclamă, desigur, o atenţie deosebită. În cazul mecanicii lui Weber, această situaţie nu se întîmpla, constanta electrodinamică era o simplă constantă în formula interacţiei între sarcini în mişcare şi nimic mai mult. Respectiva constantă nu avea nici o implicaţie de valoare universală deoarece locul ei era numai în partea potenţială a funcţiunii Lagrange. Prin adoptarea formulei Amperè & Helmholtz (neinvariantă faţă de transformările lui Galilei) şi prin impunerea de a avea — cu orice preţ — satisfăcute cele 10 legi de conservare ale mărimilor mecanice, în mod inevitabil, constanta în cauză se transferă şi în partea cinetică a funcţiei Lagrange. Acesta este preţul plătit pentru folosirea unor mărimi „invariantive”. Odată intrată în funcţia cinetică Lagrange, constanta dobîndeşte o semnificaţie universală, deoarece se va menţine acolo chiar dacă interacţiunea electrodinamică piere (făcînd una din sarcini egală cu zero). Cu alte cuvinte, sîntem obligaţi să acceptăm un principiu fizic de limitare a vitezei, viteza limită fiind C. Cînd vom investiga mişcarea unor corpuri punctuale supuse unor interacţiuni reciproce, altele decît cele electromagnetice, vom transpune în funcţia Lagrange partea cinetică determinată din problema electrodinamică (deoarece aceasta s-a menţinut cînd am anulat sarcinile şi deoarece funcţia cinetică Lagrange trebue să fie universală, aplicabilă oricărui agregat, independent de natura interacţiei). Din condiţiile de compatibilitate, implicate de existenţa integralelor mişcării, constanta electrodinamică se va transfera acum în partea potenţială a funcţiunii Lagrange, impunîndu-şi prezenţa în orice interacţie fizică. Anticipînd, afirmăm că semnificaţia constantei în cauză devine aceea de viteză de propagare (în vid) a oricărei interacţiuni în natură şi — în acelaşi timp — viteză de propagare a energiei (tot în vid), independent de natura ei.

Deoarece acum problema mişcării particulelor încărcate este (principial) complet rezolvată, să scriem principalele rezultate :

$$\mathfrak{L} = -m_{0_1}c^2\sqrt{1-\frac{\vec{v}_1^{\,2}}{c^2}} - m_{0_2}c^2\sqrt{1-\frac{\vec{v}_2^{\,2}}{c^2}} - \frac{q_1q_2}{r}\left\{1-\frac{1}{2c^2}\left(\vec{v}_1\vec{v}_2+\frac{(\vec{v}_1\vec{r})\,(\vec{v}_2\vec{r})}{r_2}\right)\right\} \tag{87}$$

$$E = Mc^2 = \sqrt{(M_0c^2)^2 + c^2\vec{P}^2},\ \vec{P} = M\vec{V},\ \vec{V} = \frac{\mathrm{d}\vec{R}}{\mathrm{d}t}\ \text{(constant)} \tag{88}$$

$$\vec{R} = \frac{M_1}{M_1+M_2}\vec{r}_1 + \frac{M_2}{M_1+M_2}\vec{r}_2,\ M_1+M_2 = M$$

$$M_1 \approx \frac{m_{0_1}}{\sqrt{1-\frac{\vec{v}_1^{\,2}}{c^2}}} + \frac{1}{2}\frac{q_1q_2}{c^2r},\ M_2 \approx \frac{m_{0_2}}{\sqrt{1-\frac{\vec{v}_2^{\,2}}{c^2}}} + \frac{1}{2}\frac{q_1q_2}{c^2r}.$$

Formula (87) a fost obținută pentru prima dată în 1906 de Max Planck. Constatăm, cu această ocazie, că am scăpat de o contradicție care se părea că va apărea atunci cînd — în afară de cele 10 integrale ale mișcării — am fost nevoiți să mai introducem „legea conservării masei dinamice totale". În acest fel se încălca celebra teoremă descoperită de Emmy Noether, potrivit căreia există o legătură necesară între legile de conservare ale mărimilor mecanice și variațiunile arbitrare infinitesimale (implicînd 10 parametri) care lasă neschimbată structura spațiului și timpului. Deoarece prin relația $E = Mc^2$, integrala masei s-a redus la integrala energiei, teorema amintită este restabilită.

În privința forței care acționează între două elemente de curent, obținem un răspuns unic introducînd în (33) valorile coeficienților (k_1, k_2) date de (85) și aplicînd apoi definiția Lagrangeiană a forței:

$$\vec{F}_{1\to 2} = \frac{\partial}{\partial \vec{r}}(\delta U) = \frac{I_1 I_2}{c^2 r^3}\left\{\frac{1}{2}[(\delta\vec{s}_1\vec{r})\,\delta\vec{s}_2 + (\delta\vec{s}_2\vec{r})\,\delta\vec{s}_1 - (\delta\vec{s}_1\delta\vec{s}_2)\vec{r}] - \right.$$

$$\left. - \frac{3}{2}\frac{(\delta\vec{s}_1\vec{r})\,(\delta\vec{s}_2\vec{r})}{r^2}\vec{r}\right\};\quad \vec{F}_{1\to 2} + \vec{F}_{2\to 1} = 0 \tag{90}$$

Este interesant să menționăm aici că manualele de electrodinamică (aproape fără excepție) prezintă tot felul de legi de interacție între elementele de curent afară de cea adevărată, care este oferită de formula (90).

Conceptele de spațiu și timp în noua mecanică

În secțiunea precedentă am ajuns la niște rezultate de valoare generală (87 — 89) care, în plus, se scriu sub aceeași formă în orice sistem de referință inerțial (deoarece noi le-am dedus într-un referențial inerțial nespecificat). O concluzie cu totul caracteristică pentru noua mecanică este aceea că mișcarea liberă (inerțială) a unui punct material (sau a unui agregat) este dată de principiul variațional:

$$\delta\int\left\{-m_0c^2\sqrt{1-\frac{\vec{v}^2}{c^2}}\right\}dt = 0 \tag{91}$$

a cărui consecință nemijlocită este expresia energiei sub forma: $E = m_0c^2\left(1-\frac{\vec{v}^2}{c^2}\right)^{-1/2}$. (Această relație poate fi obținută și din (88) eliminînd $\vec{P}$ și M între diversele relații). Expresia (91) are aceeași formă față de orice reper de inerție, ceea ce înseamnă că mărimea $\left(-m_0c^2\sqrt{1-\frac{\vec{v}^2}{c^2}}\,dt\right)$ poate diferi, la o trecere între două atari referențiale, cel mult cu o diferențială totală exactă. Adăugarea unei diferențiale totale exacte nu afectează — în vreun fel — ecuațiile de mișcare, în schimb, alterează valoarea energiei. Ori noi am ajuns la concluzia definitivă că în noua mecanică energia este o mărime bine determinată, căreia nu i se permite nici măcar libertatea unei constante arbitrare aditive (cum era cazul în mecanica clasică). Aceasta reclamă invarianța — față de transformările de inerție

— a mărimii infinitesimale :

$$dt_0 = \sqrt{1 - \frac{\vec{v}^2}{c^2}}\, dt \qquad (92)$$

Mecanica lui Newton pornește — după cum știm — cu premiza că durata temporală δt nu este afectată de transformările de inerție. La fel și distanța spațială $|\vec{\delta r}|$. Dacă în noua mecanică aceste aserțiuni ar rămîne valabile ar trebui potrivit formulei (92) ca modulul vitezei să fie invariant la trecerea între două referențiale de inerție, ceea ce este o absurditate. Singura soluție, necontradictorie cu întregul edificiu al noii mecanici, este să admitem că atît (v) cît și dt sînt afectate de transformarea de inerție, dar într-o manieră care lasă invariantă forma diferențială (92). Pentru a pune în valoare, într-un mod mai evident, implicațiile geometrice ale mecanicii „invariantive" să rescriem formula (92) sub forma alternativă :

$$(dt_0)^2 = (dt)^2 - \frac{1}{c^2}\{(dx)^2 + (dy)^2 + (dz)^2\}. \qquad (93)$$

Rezultatul (93) a fost obținut — simultan și independent — de cîțiva fizicieni în anii 1905—1907 (Poincaré, Einstein, Hargreaves, și — mai ales — Minkowski). Hermann Minkowski a studiat exhaustiv implicațiile fizice care decurg din noua geometrie 4-dimensională („crono-topică") în care spațiul și timpul sînt amestecate. Ajunși așa de departe, credem că, în sfîrșit, aserțiunea (49) privind identitatea între mecanica „invariantivă" și cea „relativistă" a devenit evidentă.

(*Va urma*)

STUDIU ASUPRA POLUĂRII ATMOSFEREI

Fizician *MARIA ZORAN*, București

Impurificarea aerului, rezultată din fumurile vulcanice, cele datorate incendierii pădurilor ca și cele produse de arderile menajere, a fost semnalată încă de la apariția primelor comunități umane. Mai tîrziu, dezvoltarea practicilor de încălzire menajeră, a metalurgiei primitive și a altor procedee industriale din secolele XIII și XIV e.n., au contribuit la accentuarea impurificării aerului, fapt consemnat în scrierile lui Tacitus, care semnala efecte mortale ale atmosfereii toxice asupra omului.

Problema poluării aerului s-a generalizat odată cu înfăptuirea revoluției industriale de la începutul secolului al XIV-lea și s-a agravat odată cu dezvoltarea industrială, ajungînd la apogeu în secolul XX. Încă de la începutul secolului nostru, s-a declanșat lupta publică împotriva poluării atmosferei cu reziduuri produse de arderile industriale ale combustibililor (cum sînt : cărbunele, petrolul, gazele naturale), pentru înlocuirea acestora cu alții care să reducă sau să elimine total fumul. Dezvoltarea industriei chimice și metalurgice a determinat apariția de noi surse poluante nocive, agenții toxici specifici, cum sînt fumurile metalice și cețurile acide. De asemenea, astăzi există tendința creșterii continue a poluării aerului cu hidrocarburi, produși petrochimici și gaze de eșapament, rezultați din exploziile motoarelor cu combustie internă folosite în transportul rutier, feroviar și maritim. O altă categorie de poluanți apare din

expunerea la lumina solară a amestecurilor de olefine şi a altor produşi de reacţie ai industriei petrolifere, care în amestec cu oxizii de azot duc la formarea unor poluanţi specifici : ozon, hidroperoxizi organici, peroxiacetil — nitraţi, aldehide şi alţi iritanţi. [1].

Atmosfera terestră poate fi definită din punct de vedere fizico-chimic ca un sistem aero-coloidal în care printre moleculele aşa numitului gaz „aer" sînt dispersate particule, foarte fine solide sau fluide [7]. Aceste substanţe, prezente în concentraţii suficient de ridicate în aer, încît să producă efecte măsurabile asupra omului, animalelor, vegetaţiei sau materialelor, sînt numite poluanţi. Poluanţii pot fi emişi de surse identificabile sau pot fi produşi de reacţie ai poluanţilor primari cu constituenţii normali ai aerului [1].

Ca un nivel de referinţă, aşa numitul aer pur este format dintr-un amestec de gaze, dintre care principale sînt : azotul, oxigenul, argonul şi bioxidul de carbon. Celelalte gaze, neonul, heliul, metanul, kriptonul, oxidul de azot, hidrogenul, xenonul, bioxidul de azot, ozonul, radonul etc. sînt prezente în concentraţii neînsemnate comparativ cu constituenţii principali. Dintre toţi componenţii aerului, metanul, ozonul şi radonul au concentraţii variabile, restul sînt prezenţi în concentraţii fixe în primii 150 km ai atmosferei (vezi tabelul I).

Tabelul 1

Constituenţii normali ai aerului pur, în ppm (10^{-6} din volumul amestecului)

Nr.	Gazul	Concentraţia ppm	Nr.	Gazul	Concentraţia ppm
1.	azot	780.900	8.	kripton	1
2.	oxigen	209.400	9.	oxid de azot	0,5
3.	argon	9.300	10.	hidrogen	0,5
4.	bioxid de carbon	315	11.	xenon	0,08
5.	neon	18	12.	bioxid de azot	0,02
6.	heliu	5,2	13.	ozon	0,01—0,04
7.	metan	1,0—1,2	14.	radon	6.10^{-8}

Pe lîngă aceste gaze, în mod normal, atmosfera conţine şi vapori de apă în cantităţi variabile de la 1—3 % din volumul total al amestecului. Prezenţa în aer a vaporilor de apă sau a apei condensate este corelată cu problema poluării atmosferice, deoarece în prezenţa anumitor particule vaporii din aer favorizează coroziunea suprafeţelor şi reducerea vizibilităţii [2].

Poluanţii gazoşi din atmosferă

De obicei, pe lîngă constituenţii normali, aerul conţine o gamă variată de gaze pe bază de carbon, sulf, azot, fluor, ozon etc.

a. Compuşii carbonului. Dintre gazele care conţin carbon, cele mai importante sînt oxidul de carbon (CO), bioxidul de carbon (CO_2) şi hidro-

carburile. Ca poluanți, oxidul și bioxidul de carbon se degajă în cantități imense din combustia incompletă și respectiv completă a combustibililor pe bază de carbon în motoarele cu ardere internă.

Astfel la Los Angeles s-a estimat că producția zilnică de oxid de carbon este de 10 000 tone, din care peste 80% rezultă din utilizarea incompletă a carbonului din gazolină, în motoarele auto. În troposfera joasă conținutul de CO din aer prezintă fluctuații considerabile legate de traficul auto și condițiile meteorologice. Măsurătorile au găsit concentrații maxime de CO pe străzile cu autobuze (100 ppm), în tuneluri cu trafic rutier (600 ppm). În orașe mari s-au înregistrat concentrații de 5 ppm, iar în zonele urbane 0,2 ppm față de regiunile rurale (nepoluate) unde concentrația era de 0,08 ppm [3].

Efectul nociv primar al CO asupra omului este legat de marea sa afinitate față de hemoglobină, rezultînd așa numita carboxihemoglobină. De asemenea, CO afectează sensibilitatea la lumină a ochilor precum și sistemul nervos [6].

Pentru a înlătura acest poluant extrem de nociv se preconizează înlocuirea traficului pe bază de gazolină cu cel cu motoare diesel sau electrice.

În cantități considerabile bioxidul de carbon rezultă și din procesele industriale și arderile menajere. Clarke și Faoro [2], de la Serviciul Sănătății Publice al S.U.A., au propus ca bioxidul de carbon să fie un indice al combustiei complete a combustibililor pe bază de carbon și al ventilației naturale în mediul urban. Datorită consumului ridicat de combustibil, după unii autori bioxidul de carbon prezintă o creștere seculară în atmosferă, care ar contribui la ridicarea temperaturii globale. Ca și CO, CO_2 în cantități foarte ridicate afectează mecanismul de control vascular uman.

Dintre hidrocarburile cel mai des întîlnite sînt metanul, crezolul benzenul etilic, toluenul etc. și aldehidele dintre care cea mai iritantă este formaldehida. Prezența în aer a hidrocarburilor este, ca și în cazul oxizilor de carbon legată de traficul auto și procesele industriale.

b. Compușii sulfului. Interesul pentru studierea compușilor sulfului a crescut după dezastrul produs de smogul din Londra din 1952, cînd concentrația de bioxid de sulf (SO_2) a fost foarte ridicată timp de două zile (1,34 ppm) și a cauzat moartea a peste 5000 de locuitori [2]. Se pare că SO_2 și hidrogenul sulfurat (H_2S), sînt răspîndite deasupra tuturor regiunilor, dar H_2S prevalează în zonele neafectate de activitatea umană.

În zonele urbane și în special în cele industriale variația raportului concentrațiilor SO_2/H_2S reflectă în principal variația SO_2 de origină industrială, întrucît concentrația de H_2S este scăzută și aproximativ constantă pentru toate direcțiile [3]. H_2S se produce prin descompunerea materiei organice sau în anumite procese industriale și are o toxicitate foarte ridicată. Potențialul complet de poluare a aerului cu SO_2 cel mai nociv se atinge după ce acesta a reacționat cu alte substanțe din atmosferă.

c. Compușii azotului și alți poluenți gazoși ai aerului. Printre compușii azotului generați și degajați în cantități abundente în aer sînt : monoxidul de azot (NO), bioxidul de azot (NO_2) și amoniacul (NH_3). NO și NO_2 se produc în procesele de combustie la temperaturi ridicate și prin alte operații industriale. NO_2 este un iritant al țesuturilor chiar la concentrații relativ scăzute, dar interesul major pentru ambii oxizi este legat de participarea acestora la reacțiile fotochimice [1, 2]. Din alte procese industriale

sau din reacţiile poluanţilor cu constituenţii normali ai aerului se generează ozon, oxidanţi, compuşi ai florului etc., substanţe care prezente în concentraţii ridicate produc efecte nocive asupra omului, animalelor, vegetaţiei sau materialelor [1, 2].

Tot în cadrul poluanţilor gazoşi se integrează şi emanaţiile radioactive gazoase, care în concentraţii ridicate se pare că sînt responsabile pentru efectele genetice anormale [1].

Aerosolul atmosferic

Particulele solide sau lichide aflate în suspensie în aer formează ceea ce numim aerosolii atmosferici.

După modul de formare se disting două grupe:

a. *aerosolul de dispersie* — format prin măcinarea şi atomizarea solidelor şi lichidelor şi transportul acestor pudre în formă de suspensie, de către curenţii sau vibraţiile aerului.

b. *aerosolul de condensare* — format cînd vaporii suprasaturaţi se condensează, sau cînd gazele reacţionează chimic pentru a genera un produs nevolatil.

Sisteme de aerosoli plus particule solide sau lichide sînt întîlnite în natură sub formă de praf, ceaţă, fum, smog, (dela smoke + fog care în engleză. înseamnă fum + ceaţă) şi nori.

Atmosfera cuprinde un univers întreg de particule, care se diferenţiază prin mărime (de la $6 \times 10^{-4}\ \mu - 10^{-3}\mu$), formă, compoziţie, istorie proprie în atmosferă (referitor la originea, creşterea, interacţia şi descompunerea lor). Procesul de generare şi transport al particulelor neviabile din atmosferă este continuu şi depinde de sursele specifice de poluare, de condiţiile meteorologice şi topografice caracteristice bazinului de aer din zona respectivă [4].

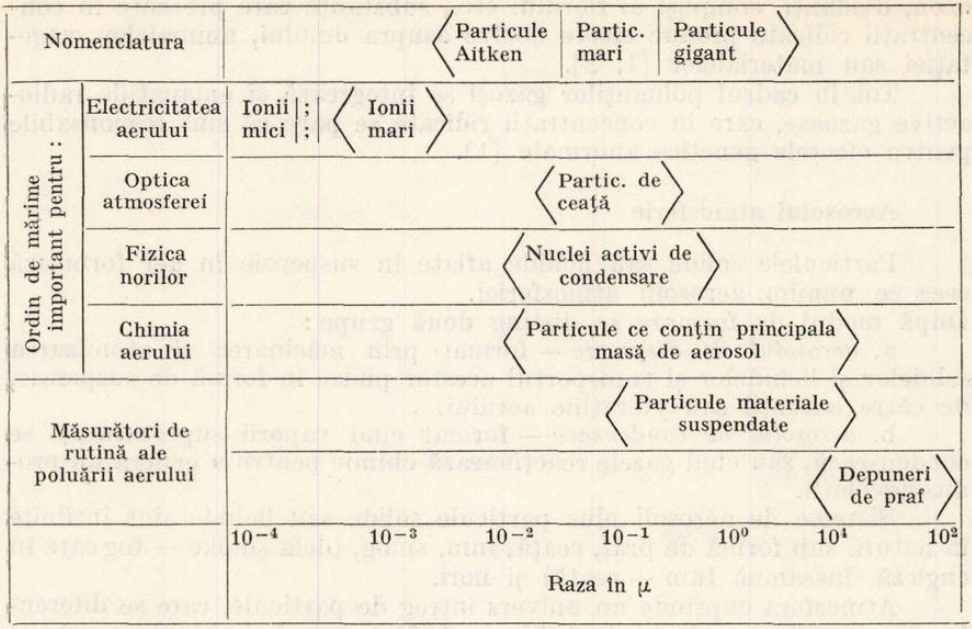
Spectrul dimensional al aerosolilor din aerul uscat (excluzînd picăturile de nor, ceaţă, precipitaţii) este limitat inferior de faptul că particulele de raze mai mici sau egale cu $5 \times 10^{-3}\ \mu$ se ataşează rapid la particule mai mari de aerosol şi superior deoarece particulele de raze mai mari ca 20μ au un timp de rezidenţă în atmosferă limitat de sedimentarea gravitaţională (s-a lucrat în aproximaţia sferică a particulelor).

Aerosolii prezenţi în atmosferă pot fi naturali sau produşi artificial în procesele industriale sau de arderile menajere. În tabelul II se prezintă o clasificare după mărime a aerosolilor naturali şi importanţa acestora pentru fizica atmosferei (după Christian Jounga) [3, 4].

În general aerosolul neviabil cuprinde particule de metal, carbon, gudron, smoală, oxizi, nitraţi, sulfaţi, cloruri, fluoruri, silicaţi, cenuşă, funingine, compuşi radioactivi etc. [1, 3, 4]. Pe lîngă particulele neviabile, în atmosferă sînt prezente şi particule viabile ca: polenul, microorganisme (alge, mucegaiuri, spori, ciuperci, bacterii, rugină etc), insecte şi părţi de insecte. Aceste particule viabile sînt considerate factori poluanţi deoarece unele produc boli alergice şi daune vegetaţiei şi materialelor [8].

Particulele aerosolului atmosferic sînt importante în diferite domenii ale fizicii atmosferei. Particulele fine (mai mici de 100 μ diametru) absorb, reflectă şi difuzează lumina după legile bine stabilite care leagă lungimea de undă de mărimea particulei. În funcţie de gradul lor de higroscopicitate şi încărcare, ele guvernează procesele de condensare şi coalescenţă cu alte particule sau gaze afectînd astfel vizibilitatea.

Tabelul 2



Avînd suprafețe specifice mari, unele particule funcționează drept catalizatori ai interacțiilor normale lente, dintre poluanți. De asemenea, în măsura în care sînt radioactive, ele sporesc doza de radiație normală, produc ionizarea aerului și sînt pasibile de a afecta procesele genetice. Ca simplu praf, depus (conform legilor fizicii care guvernează precipitarea și atracția electrostatică) pe sol, clădiri și corpuri, constituie un inconvenient general. Particulele de diametre mai mari de 100μ prezintă în general aceleași tipuri de probleme, dar mai reduse deoarece masa lor asigură un transport mai rapid în aer, prin atracția gravitațională, și sînt mai puțin propice pentru reacțiile dintre poluanți (din cauza dimensiunilor mari). Mecanismele fiziologice defensive preîntîmpină pătrunderea lor pe căile respiratorii. Din această cauză, prin depunerile respective, particulele pot afecta mai mult solul și materialele [1, 4].

Pe lîngă procesele de nucleare și condensare, sedimentare și alte procese de curățire a aerului, fenomenele meteorologice joacă un rol esențial în reglarea concentrațiilor poluanților care reacționează chimic, în mecanismul de transport al poluanților și prin aceasta determină mărimea concentrațiilor diferiților poluanți. În acest sens o semnificație deosebită pentru problema poluării o au : nivelul la care apar inversiunile termice (strate atmosferice de mare stabilitate care funcționează ca un „capac" al atmosferei), mărimile orizontale și verticale ale vîntului, umezeala, gradienții barici și termici, nebulozitatea, precipitațiile lichide sau solide, radiația solară, forțele sinoptice externe și influențele topografiei locale [1, 5].

Cunoscînd caracteristicile sursei poluante și condițiile meteorologice se pot calcula concentrațiile poluanților la diferite distanțe de surse și invers. Dat fiind că efectul poluării asupra receptorului depinde de condițiile atmosferice, informațiile meteorologice legate de poluarea aerului

servesc la proiectarea poziției noilor surse poluante, la cunoașterea aportului diferitelor surse, pentru a acționa asupra lor precum și pentru a modifica concentrațiile poluanților în perioade de maximă poluare (prin înlocuirea combustibililor sau prin reducerea proceselor industriale respective) [5].

Ca rezultat al creșterii populației și al dezvoltării impetuoase a industriei, problema poluării aerului a devenit una dintre problemele majore ale umanității, de al cărei control se ocupă o serie de discipline ca : fizica, chimia, ingineria chimică, și mecanică, meteorologia și politica.

BIBLIOGRAFIE

1. *Leslie Chambers*,Air Pollution, vol. I, ed. Arthur Stern 1968, Acad. Press pag. 1 —19.
2. *Bernard Tebbens*, Air Pollution, vol. I, ed. Arthur Stern 1968, Acad. Press pag. 23—45.
3. *Christian Jounge*, Air Chemistry and Radioactivity, ed. 1963 Acad. Press.
4. *Morton Corn*, Air Pollution, vol. I, ed. Arthur Stern 1968 Acad. Press pag. 47—90.
5. *Hans Panofsky*, American Scientist, 57, 2, pag. 269—285 Vara 1969.
6. *Herbert Stokinger, David Coffin*, Air Pollution, vol. I, ed. Arthur Stern 1968 Acad. Press. pag. 446—553.
7. *S. W. Tromp*, Medical Biometeorology, ed. 1963 Pergamon Press.
8. *Alvin Jacobson* Air Pollution, vol. I, ed. Arthur Stern 968 Acad. Press pag. 95—118.

PROGRAMA DE FIZICĂ

pentru anii I-IV — ai liceului de cultură generală

Secția Umanistă

Proiect pentru discuții

ANUL I

(2 ore săptămînal — 64 ore anual)

Repartizarea orelor

Predare . . . . . — *47 ore*
Lucrări de laborator . . . . . — *9 ore*
Recapitulare și ore la dispoziția profesorului . . . . . — *8 ore*

TOTAL = *64 ore*

MECANICA

I. **Introducere** . . . . . — *2 ore*

a) Obiectul mecanicii. b) Mișcarea mecanică. Sistem de referință. Mișcarea și repausul, relativitatea lor.

II. **Cinematică** . . . . . — *12 ore*

1. *Mișcări rectilinii.* a) Modelul punctului material. Elementele mișcării : traiectoria, ecuația mișcării. b) Vectorul viteză. Unități de viteză. Caracterizarea unui vector, Adunarea și scăderea vectorilor. c) Clasificarea mișcărilor după vectorul viteză. d) Mișcarea rectilinie uniformă ; legile ei. e) Vectorul accelerație. Unități de accelerație. f) Mișcarea rectilinie uniform-variată ; legile ei.

2. *Mişcarea circulară* a) Mişcarea circulară uniformă. Viteză liniară şi viteză unghiulară. Relaţia dintre ele. b) Perioadă, frecvenţă : unităţile de măsură. c) Acceleraţia normală (centripetă).

III. **Dinamică şi statică** . . . . . — *18 ore*

1. *Inerţia* a) Inerţia b) Legea inerţiei. Sistem de referinţă inerţial.
c) Masa, măsură a inerţiei. Unitatea de masă. Densitate.
2. *Interacţiunea* a) Interacţiunea dintre corpuri. Cîmp. Forţă. b) Sistem fizic. c) Vectorul impuls. d) Legea interacţiunii (acţiuni reciproce).
3. *Acţiunea forţei* a) Variaţia impulsului. b) Legea acţiunii forţei. Unităţi de forţă. c) Principiul independenţei acţiunii forţelor simultane. d) Efectele forţei : dinamic şi static. e) Deformare elastică. Legea lui Hooke. Dinamometru. Forţa de elasticitate. f) Forţe concurente. Compunerea lor. g) Forţă de greutate. Cîmp gravitaţional. Intensitatea lui. Căderea liberă a corpurilor. h) Frecare. Forţa de frecare. Coeficient de frecare de alunecare.
i) Dinamica mişcării circulare.

IV. **Energia mecanică** . . . . . — *10 ore*

1. *Lucru mecanic* a) Formula lucrului mecanic. Unităţi de lucru mecanic. b) Putere. Unităţi de putere.
2. *Energie mecanică* a) Formele energiei mecanice ale unui sistem fizic : cinetică şi potenţială. Energia internă a unui sistem fizic. b) Transformarea reciprocă dintre energia cinetică şi cea potenţială. Legea transformării şi conservării energiei în procesele mecanice dintr-un sistem fizic izolat.
c) Legea variaţiei energiei cinetice.

V. **Gravitaţia universală** . . . . . — *5 ore*

a) Legea gravitaţiei universale. Constanta gravitaţiei universale. Masa Pămîntului. b) Variaţia acceleraţiei gravitaţionale terestre. c) Sateliţi artificiali. Imponderabilitate. Viteze cosmice.

Lucrări de laborator . . . . . — *9 ore*

1. Verificarea legilor mişcării uniforme.
2. Verificarea legilor mişcării uniform variate.
3. Studiul legilor dinamicii.
4. Verificarea legii lui Hooke.
5. Cîntărirea corpurilor.
6. Determinarea densităţii la solide.
7. Determinarea densităţii la lichide.
8. Studiul frecării de alunecare.
9. Compunerea forţelor concurente
10. Studiul planului înclinat.

ANUL II

(2 ore săptămînal = 64 ore anual)

Repartizarea orelor

Predare . . . . . — *47 ore*
Lucrări de laborator . . . . . — *9 ore*
Recapitulări şi ore la dispoziţia profesorului . . . . . — *8 ore*

TOTAL = *64 ore*

MECANICA

I. **1. Elemente de mecanica fluidelor** . . . . . — *7 ore*

a) Modelul lichidului ideal. Curgere staţionară. b) Debit masic şi debit volumic. c) Legea Bernoulli pentru conducte orizontale. d) Rezistenţa la mişcarea corpurilor în fluide reale. Profil aerodinamic. Aplicaţii. e) Energia hidraulică a unei căderi de apă.

FIZICA MOLECULARĂ

II. **Structura corpusculară a substanței** . . . . . — *5 ore*

2. *Dovezi experimentale privind structura corpusculară a substanței și mișcarea particulelor ei.* Particule de substanță (atomi și molecule). Fotografierea particulelor de substanță. Dimensiuni moleculare și atomice. Spații și forțe intermoleculare. Difuziunea. Mișcare browniană; mișcare dezordonată. Cantitate de substanță.

3. *Teoria cinetico-moleculară* Fundamentarea teoriei cinetico-moleculare. Modelul gazului ideal. Explicarea cinetico-moleculară a presiunii și a temperaturii. Zero absolut. Deducerea formulei fundamentale a teoriei cinetice pentru gazul ideal.

Demonstrații: — experiențe de difuzie
— mișcarea browniană

III. **Aplicații ale teoriei cinetice** . . . . . — *5 ore*

4. *Ecuația de stare a gazului ideal.* Parametri de stare. Transformări ale gazelor (variația parametrilor de stare). Legea transformării gazului ideal dedusă din formula generală a teoriei cinetice. Legea lui Avogadro. Stare normală fizică. Ecuația de stare a gazului ideal. Constanta gazului ideal. Cazuri particulare: izotermă, izobară, izocoră.

5. *Forța intermoleculară* (în gaze, lichide și solide).

Demonstrații — relația dintre p și v la t constant;
— dilatația gazelor.

ELEMENTE DE TERMODINAMICĂ

IV. **Energia internă și variația ei** . . . . . — *9 ore*

6. *Energia internă* Energia internă. Transferul de energie internă între corpuri. Lucrul mecanic — mod de transfer al energiei prin mișcare ordonată (mecanică). Căldura — mod de transfer al energiei prin mișcare dezordonată (termică).

7. *Variația energiei interne (cantitatea de căldură)* Variația energiei interne fără efectuarea de lucru mecanic; cantitate de căldură. Unitatea de cantitate de căldură: Joule. Unitatea tolerată. Relația dintre cele două unități. Formula cantității de căldură. Căldura specifică.

8. *Măsurători calorimetrice* Principiile calorimetriei. Ecuația calorimetrică. Calorimetrul. Măsurarea cantității de căldură. Cantitatea de căldură dezvoltată prin arderea unui combustibil. Puterea calorică. Randamentul unei instalații termice.

Demonstrații — experiențe asupra căldurii specifice și a randamentului termic.

V. **Principiile termodinamicii** . . . . . — *8 ore*

9. *Primul principiu al termodinamicii* Transformarea reciprocă dintre mișcarea mecanică și mișcarea termică. Primul principiu al termodinamicii. Aplicații la procese adiabatice, izocore, ciclice. Legea transformării și conservării energiei în procesele mecanice și termice.

10. *Al doilea principiu al termodinamicii* Lucrul mecanic produs prin destinderea gazelor și reprezentarea lui grafică în procese izobare, izoterme, adiabatice, ciclice. Motor termic. Ciclu Carnot. Randamentul motoarelor termice. Principiul al doilea al termodinamicii.
Perpetuum mobile. Aplicații.

VI. **Oscilații armonice**

OSCILAȚI ȘI UNDE MECANICE . . . . . — *13 ore*

11. *Modelul oscilației armonice* Oscilația unui resort, a unui pendul, mărimi caracteristice; elongația (amplitudine), perioadă (frecvență) fază. Modelul oscilației armonice. Oscilația armonică — proiecția pe un diametru a miș-

cării circulare uniforme. Ecuațiile oscilației armonice. Reprezentarea oscilației armonice; analitic, grafic prin fazori.

12. *Energia oscilatorului armonic* Forțe care determină mișcarea oscilatorie $F = -Ky$. Perioada oscilației armonice. Perioadă (frecvență) proprie; oscilații libere. Perioada pendulului. *Energia oscilatorului. Oscilația neamortizată*; oscilația amortizată.

VII. Unde mecanice

13. *Producerea și propagarea undelor.* Propagarea oscilațiilor într-un mediu elastic. Undă. Transport de energie, fără transport de substanță (prin unde). Unde longitudinale. Unde transversale. Mecanismul producerii lor. Viteza de propagare a undelor. Defazaj. Suprafața de undă; raza. Unde sferice, unde plane. Principiul lui Huygens. Lungime de undă. Relația dintre mărimea care caracterizează periodicitatea în timp T a undei și cea care caracterizează periodicitatea ei în spațiu. Ecuația undei. Rezonanță.

14. *Studiul sunetului* (acustica) Natura fizică a sunetului. Viteza lui de propagare. Caracter sticile fizice ale sunetului și corespondentele lor fiziologice: frecvență — înălțime, amplitudine (energie) — intensitate. Reflexia undelor sonore. Ecou, reverberație. Acustica sălilor. Noțiuni despre ultrasunete.

Demonstrații:
- oscilațiile unui resort sau lamă elastică
- oscilațiile pendulului
- rezonanța mecanică a pendulelor
- unde transversale și longitudinale.
- reflecția undelor
- reflecția sunetului

Lucrări de laborator . . . . . — *9 ore*

1. Determinarea densității solidelor pe baza legii Arhimede.
2. Determinarea densității lichidelor pe baza legii Arhimede.
3. Determinarea căldurii specifice a unei substanțe solide.
4. Determinarea căldurii specifice a unei substanțe lichide.
5. Determinarea randamentului unui încălzitor.
6. Verificarea legii Boyle-Mariotte
7. Determinarea punctului de topire a unei substanțe.
8. Verificarea legilor pendulului și determinarea lui g.
9. Determinarea frecventei unui sunet prin metoda rezonanței.

ANUL III

(2 ore săptămînal = 64 ore anual)

Repartizarea orelor

Predare	— *47 ore*
Lucrări de laborator	— *9 ore*
Recapitulare și ore la dispoziția profesorului	— *8 ore*
TOTAL =	*64 ore*

ELECTRICITATE

I. Cîmp electrostatic . . . . . — *9 ore*

1. *Caracteristica calitativă și cantitativă a cîmpului electrostatic.* Sarcină electrică; separarea sarcinilor electrice prin contact. Sarcină electrică elementară; electronul. Unitatea de sarcină electrică. Interacțiuni între corpuri încărcate electric; influența electrică. Electroscop. Cîmpul electrostatic. Structura cîmpului electrostatic; linii de cîmp și sensul lor, sursele cîmpului electrostatic (sarcina electrică). Cîmp uniform. Cîmpul electrostatic este o formă structurală a materiei. Mărimi care descriu cantitativ cîmpul electrostatic; intensitatea cîmpului (mărime vectorială),

unitatea ei de măsură. Legea lui Coulomb (deducerea ei pe baza cîmpului electrostatic).

2. *Cîmpul electrostatic purtător de energie* Lucrul mecanic la deplasarea în cîmpul electrostatic a unui corp încărcat. Cîmpul electrostatic e cîmp potențial. Potențialul cîmpului, altă mărime — scalară — care descrie cantitativ cîmpul electrostatic. Unitatea de potențial. Tensiune electrică. Legătura dintre potențial și intensitatea cîmpului. Condensatorul plan ; cîmpul uniform dintre armături. Capacitatea condensatorului. Factorii de care depinde. Unitatea de capacitate. Energia condensatorului. Permitivitatea relativă. Permitivitatea vidului.

II. **Electrocinetică** . . . . . — *10 ore*

3. *Curent electric continuu constant* Curent electric de conducție. Generator electric ; tensiune electromotoare. Circuit electric. Efectele curentului electric. Intensitatea curentului electric. Unitatea ei. Ampermetrul. Tensiunea electrică între două puncte ale circuitului. Voltmetrul. Rezistența electrică. Legea lui Ohm pe o porțiune de circuit. Unitatea de rezistență electrică. Dependența rezistivității de temperatură. Rezistența echivalentă a rezistoarelor grupate în serie. Rezistența echivalentă a rezistoarelor grupate în paralel. Gruparea generatoarelor electrice în serie, în paralel.

4. *Energia electrică* Energia și puterea electrică dezvoltate într-un circuit electric. Rolul cîmpului electric în dezvoltarea energiei. Unități de măsură. Efectul electrocaloric. Legea Joule. Căderea de tensiune pe linie. Randamentul transmisiei de energie pe linie. Aplicații.

5. *Electroliza și legile ei* a) Electroliză b) Legile electrolizei. Numărul lui Faraday.

6. *Sarcina electrică elementară* a) Structura corpusculară a sarcinii electrice. b) Electronul.

Demonstrații :

— producerea curentului electric ;
— efectele curentului electric ;
— măsurarea intensității și tensiunii ;
— factorii de care depinde rezistența ;
— verificarea legii lui Ohm ;
— gruparea în serie a conductoarelor și generatoarelor.

III. **Fenomene electromagnetice** . . . . . — *10 ore*

7. *Cîmpul magnetic constant* și structura lui. Linii de cîmp magnetic, spectru magnetic. Sensul liniilor de cîmp magnetic legat de sensul curentului electric prin regula burghiului.

8. *Forța electromagnetică*. Mărimea, direcția și sensul ei. Inducția magnetică.

9. *Flux de inducție magnetică*. Unitatea de flux magnetic ; unitatea de inducție magnetică.

Inducția magnetică a cîmpului din interiorul unui solenoid parcurs de curent electric. Permeabilitatea magnetică, permeabilitatea relativă ; permeabilitatea vidului.

10. *Intensitatea cîmpu ui magnetic*. Cazul circuitului rectiliniu și bobinei parcurse de curent electric.

11. *Acțiunea reciprocă a două conductoare parcurse de curent electric*. Aplicații. Etalonul pentru unitatea de intensitate a curentului electric. Calculul constantei magnetice.

Demonstrații :

— acțiunea cîmpului magnetic asupra conductoarelor parcurse de curent electric ;
— cîmpul magnetic al curentului electric prin circuit liniar, solenoid ;
— acțiunea reciprocă a conductoarelor parcurse de curent.

IV. **Inducția electromagnetică** . . . . . — *6 ore*

12. *Tensiunea indusă și legile ei* Inducția electromagnetică. Mărimea tensiunii induse. Sensul tensiunii induse. Unitatea de flux magnetic. Tensiunea indusă într-un conductor liniar aflat în mișcare în cîmpul magnetic. Explicarea electronică a acestui fenomen.

13. *Autoinducție* Producerea fenomenului de autoinducție. Inductanța unui circuit. Unitatea de inductanță. Legea autoinducției. Rolul autoinducției în tehnică.
Demonstrații :
— producerea curenților induși;
— experiențe de autoinducție.

V. **Curent alternativ monofazat** . . . . . — *6 ore*

14. *Tensiuni alternative* Curentul alternativ sinusoidal. Caracteristicile mărimilor alternative sinusoidale; amplitudine, elongație, perioadă, frecvență, fază, pulsație. Efectele curentului alternativ. Valori instantanee, maxime și efective ale curentului alternativ. Moduri de reprezentare ale mărimilor alternative: analitic, grafic, prin fazor.
15. *Circuite de curent alternativ* a) Rezistor în curent alternativ. Bobină în curent alternativ. Condensator în curent alternativ. b) Circuit serie cu R, L și C în curent alternativ. c) Rezonanța electrică.
Demonstrații :
— Model de spiră pentru curentul alternativ.
— Experiențe referitoare la curentul alternativ.

VI. **Cîmp electromagnetic** . . . . . — *6 ore*

16. *Oscilații electromagnetice* a) Circuit oscilant. Producerea oscilației. b) Perioada proprie a circuitului oscilant. Formula lui Thomson. c) Oscilații neamortizate și oscilații amortizate; d) Rezonanța circuitelor oscilante.
17. *Unde electromagnetice* a) Cîmp electromagnetic. Undă electromagnetică. b) Dipol electric. Antenă. c) Proprietățile undelor electromagnetice de diferite frecvențe.

Lucrări de laborator . . . . . — *9 ore*

1. Studiul circuitului electric.
2. Verificarea legii lui Ohm.
3. Variația rezistenței electrice cu lungimea, secțiunea și natura conductorului.
4. Studiul legării în paralel și în serie a rezistoarelor.
5. Verificarea legii Joule.
6. Determinarea randamentului unui fierbător electric.
7. Studiul contorului electric. Măsurarea energiei electrice.
8. Studiul forței electromagnetice.
9. Studiul inducției electromagnetice.
10. Studiul transformatorului electric.

ANUL IV

(2 ore săptămînal = 62 ore anual)

Repartizarea orelor :

Predare . . . . . — *50 ore*
Lucrări de laborator . . . . . — *5 ore*
Recapitulări și ore la dispoziția profesorului . . . . . — *7 ore*

TOTAL = *62 ore*

NOȚIUNI DE ELECTRONICĂ ȘI APLICAȚII

I. **Electrofizica gazelor** . . . . . — *4 ore*

1. *Procese fundamentale la trecerea curentului electric prin gaze* a) Descărcarea întreținută și descărcarea independentă. Avalanșe electronice. b) Fenomene luminoase care însoțesc descărcările în gaze.
2. *Descărcarea luminiscentă* Descrierea și explicarea descărcării luminiscente. Aplicații ale ei; tuburi fluorescente; reclame luminoase. Radiații catodice; radiații canal.

3. *Noțiuni de fizica plasmei* Natura fizică și proprietățile plasmei. Aplicații ale plasmei.

Demonstrații :

— Descărcări în gaze rarefiate ;

— Producerea oscilațiilor electrice ;

II. **Tuburi electronice ; aplicații** . . . . . — *5 ore*

4. *Dioda* Emisie termoelectronică. Dioda. Redresarea curentului alternativ cu ajutorul diodei. . . . . .

5. *Trioda* Funcționarea triodei. Caracteristica de grilă a triodei. Trioda ca amplificatoare.

6. *Osciloscopul catodic* Funcționarea osciloscopului catodic. Aplicații ale osciloscopului catodic.

7. *Noțiuni de radio-emisie și radiorecepție*

Demonstrații :

— experiențe de radioemisie și radiorecepție cu aparatul I.M.D. ;

— caracteristica triodei.

III **Optică geometrică** . . . . . — *6 ore*

8. *Propagarea luminii* Modelul rază de lumină, viteza luminii. Reflexia luminii. Refracția luminii. Indici de refracție. Prisma optică. Dispersia luminii.

9. *Lentile* Elementele lentilelor. Imagini în lentile. Formulele lentilelor. Convergența lor.

10. *Aparate optice* Ochelari. Lupă. Aparat de proiecție. Cinematograf. Microscop. Proiecție microscopică. Microscop electronic.

IV. **Noțiuni de spectroscopie** . . . . . — *6 ore*

11. *Spectre și analiză spectrală* Spectre ; aparatură de spectroscopie ; Tipuri de spectre ; spectre de absorbție. Analiză spectrală.

V. **Optică ondulatorie** . . . . . — *5 ore*

12. *Interferența luminii* Unde luminoase coerente. Interferența undelor luminoase. Dispozitivul Young. Interferența prin lame subțiri. Inelele lui Newton. Aplicații ale interferenței.

13. *Difracția luminii* Difracția printr-o fantă îngustă. Rețele de difracție. Aplicații ale lor. Modelul ondulatoriu al structurii luminii.

VI. **Optică fotonică** . . . . . — *6 ore*

14. *Emisie fotoelectronică* Legile fenomenului fotoelectronic ; explicarea lor. Cuanta de energie. Optica fotonică. Lumina ca fenomen ondulatoriu și corpuscular ; structura dublă a luminii. Celulă fotoelectrică ; aplicații ale ei.

VII. **Noțiuni de teoria relativității** . . . . . — *2 ore*

15. *Principiul relativității restrînse.* Relativitatea spațiului și a timpului. Variația masei cu viteza. Relația reciprocă dintre masă și energie.

STRUCTURA SUBSTANȚEI

VIII. **Învelișul electronic** . . . . . — *6 ore*

16. *Modele atomice* Modelul atomic al lui Rutherford. Deficiențele lui. Postulatele lui Bohr. Confirmarea lor. Modelul atomic al lui Bohr. Explicarea seriilor spectrale.

17. *Proprietățile ondulatorii ale particulelor.* Difracția electronilor. Nor electronic. Numere cuantice. Spinul electronului. Pături electronice. Nivele energetice ale electronului în atomul cu mai mulți electroni. Structura electronică a atomilor și sistemul periodic al elementelor.

IX. **Nucleul atomic** . . . . . — *10 ore*

18. *Radioactivitatea spontană* (naturală) Tipuri de radiaţii radioactive. Legile deplasării. Emisia radiaţiilor. Legea dezintegrării radioactive. Timp de înjumătăţire. Serii şi elemente radioactive.
19. *Mijloace de detecţie în fizica nucleară* Camera cu ceaţă. Camera cu bule. Emulsii nucleare. Contorul Geiger-Müller.
20. *Structura nucleului atomic* Protonul, particulă nucleară. Neutronul. Nucleoni. Alcătuirea nucleului atomic.
21. *Reacţii nucleare* Acceleratori de particule încărcate. Tipuri de reacţii nucleare. Exemple. Radioactivitatea provocată (artificială). Transformarea reciprocă a particulelor elementare. Aplicaţiile izotopilor radioactivi.
22. *Energia nucleului atomic* Forţe nucleare. Energia de legătură. Defect de masă. Energia medie de legătură pe nucleon. Modelul picătură. Fisiunea nucleară. Eliberarea energiei nucleare. Energia reacţiilor nucleare. Reacţii în lanţ. Reactori nucleari. Centrale electronucleare. Utilizarea energiei nucleare în scopuri paşnice.
23. *Cercetări actuale în fizica nucleară.* Fuziunea nucleară. Radiaţii cosmice.

Lucrări de laborator . . . . . — *5 ore*

1. Studiul unui aparat de radio-recepţie.
2. Studiul spectrelor
3. Determinarea lungimii de undă cu reţeaua optică.
4. Studiul celulei fotoelectrice ca releu fotoelectric (I.M.D.).
5. Vizualizarea urmelor particulelor cu ajutorul camerei cu ceaţă (I.M.D.).

FOLOSIREA OSCILOSCOPULUI CATODIC LA LUCRĂRILE DE LABORATOR

Lector univ. *SZÖCS HUBA* şi profesor *SZÖCS GEZA*

Osciloscopul catodic prin vizualizarea semnalelor electrice ne face un important serviciu atît la predarea electricităţii şi a electromagnetismului cît şi la lucrările de laborator. S-ar putea spune ca fără osciloscop nici nu există predarea şi studierea adecvată a electricităţii.

În laboratorul nostru, care posedă un osciloscop catodic — de fabricaţie proprie — am efectuat o serie de experienţe privind materia cuprinsă în programă. Dintre acestea aş vrea să mă refer în mod special la acelea, în care sînt utilizate dispozitive IMD.

1. Studiul oscilaţiilor electrice.

Montajul obişnuit pentru producerea diferitelor tipuri de oscilaţii electrice este următorul:

circuit oscilant paralel

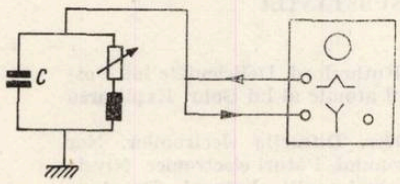


Fig. 1

circuit oscilant serie

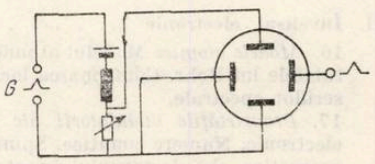


Fig. 2

Alimentarea circuitului se face prin tensiunea de baleiaj a osciloscopului. Avantajul montajului este că nu necesită un generator de baleiaj separat şi că sincronizarea este automată.

Datele circuitului :

— bobina tip IMD fără miez de fier, numărul spirelor 1200

— condensator de 800—1000 pF

— rezistenţa variabilă de 0—5000 ohm

În funcţie de valoarea rezistenţei se pot obţine oscilaţii întreţinute neamortizate, amortizate uşor, amortizate, amortizate critic, aperiodice.

Se poate folosi pentru studiul oscilaţiilor şi montajul IMD tranzistorizat. La bornele condensatorului C_2 se obţin oscilaţii de formă ferăstrău (descărcarea periodică a condensatorului).

La bornele rezistenţei R se obţin oscilaţii amortizate dacă se alege frecvenţa potrivită a generatorului de baleiaj ; iar la ieşirea dispozitivului se obţin oscilaţii neamortizate.

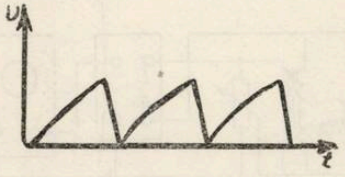


Fig. 3

2. Trasarea caracteristicii de grilă a triodei

Trasarea caracteristicii de grilă se face prin măsurarea curentului anodic în funcţie de tensiunea grilei. Acest procedeu necesită măsurarea mai multor valori ale perechii U_g, I_a şi apoi reprezentarea grafică a rezultatelor. Cu ajutorul osciloscopului se obţine direct curba caracteristică a tubului electronic. Montajul este următorul :

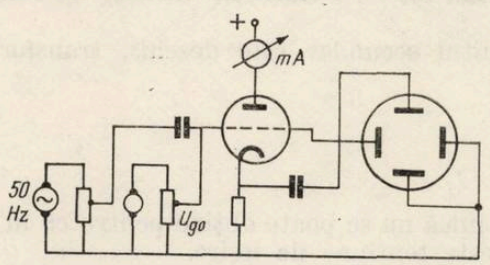


Fig. 4

De remarcat este faptul că tensiunea de grilă se schimbă automat prin suprapunerea unei tensiunii alternative de 50 Hz pe tensiunea de negativare constantă. Prin modificarea tensiunii de negativare constante se pot obţine curbe caracteristice de diferite curburi.

Prin suprapunerea unei tensiuni alternative de cca 250 V pe tensiunea de placă constantă, se obţine caracteristica de placă a tubului

3. Redresarea cu ajutorul diodei cristal

Se poate obține un semnal sinusoidal redresat. Cu ajutorul unei diode de seleniu, pe baza montajului din figura 5.

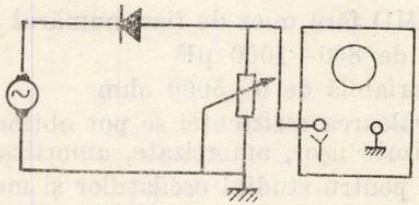


Fig. 5

4. Funcționarea transformatorului

Se folosește un transformator IMD cu raport de transformare 1/1 sau 1/2. Schema experienței este dată de figura nr. 6.

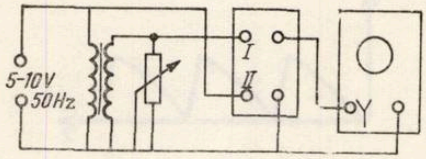


Fig- 6

Tensiunea alternativă U, aplicată bobinei primare, produce în aceasta un curent alternativ care la rîndul său generează în miez un flux de inducție alternativă și care induce în bobina secundară o t.e.m. e_2. El induce și în primar o t.e.m. autoindusă e_1, defazată cu unghiul π în urma lui U.

$$e_1 = U$$

Tensiunea indusă în bobina secundară e_2, este în fază cu e_1, deci defazată cu unghiul π în urma lui U. Defazarea variază în funcție de rezistența consumatorului :

— dacă circuitul secundar este deschis, transformatorul lucrează în gol

— R = 30

— R = 15

— R ●

Obs. Defazare mai mică nu se poate obține pentru că în cazul scurtcircuitului, practic nu este tensiune de ieșire.

Rezultatele ne dau un ajutor prețios și pentru clarificarea noțiuni de fază și de defazare, la fel și pentru demonstrarea legii lui Lenz.

5. Osciloscopul în regim de galvanometru

Dacă se decuplează tensiunea de baleiaj, osciloscopul funcționează în regim de galvanometru alternativ și se poate aplica la puntea Wheatstone, lungimea semnalului vertical reprezentînd mărimea tensiunii alternative.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

Biblioteca

CĂTRE COLABORATORII NOŞTRI,

Articolele, notele şi orice materiale destinate publicării în Revista de Fizică şi Chimie seria A trebuie să fie redactate clar şi concis (maximum 10 pagini dactilografiate la două rînduri) în două exemplare, însoţite de figuri desenate separat de text, cît mai sugestive, de preferinţă în tuş pe calc. Fotografiile trebuiesc executate în contrast puternic alb-negru. Figurile şi fotografiile trebuiesc trimise de asemenea în două exemplare.

Articolele trebuiesc semnate (dactilografiat) imediat sub titlu împreună cu titlul didactic şi localitatea autorului.

Pe ultima pagină, pe ambele exemplare trebuie scrisă complet adresa autorului.

În acelaşi plic cu materialul colaboratorii noştri sînt rugaţi să introducă şi o carte poştală cu adresa proprie (la destinatar) pentru a ne ajuta în promtitudinea răspunsului.

Materialele ne publicate nu se restituie autorilor.

Pe adresa redacţiei primim propunerile şi sugestiile Dvs. cu privire la tematica Revistei, note critice asupra articolelor publicate pînă acum.

Dorim ca Revista de Fizică şi Chimie să vă fie de un real folos în activitatea Dvs. ştiinţifică şi didactică.

Comitetul de Redacţie

I.P.I. — c. 2074

Index 43 459

Lei 3

SOCIETATEA DE ȘTIINȚE FIZICE ȘI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista DE FIZICĂ ȘI CHIMIE

SERIA A
VOLUMUL VIII

4

APRILIE 1971

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE
STR. NUFERILOR 23, SECTORUL 7 BUCUREȘTI—46 TELEFON 16.42.86

SUMAR

Pag.

Conf. Dr. *Liviu Oniciu*, Cluj

1. Despre cinetica electrochimică 121

Dumitru Lupu, Constanța

2. Tehnica separării cobaltului de nichel 127

N. Gherbanovschi și *St. Corbu*, București

3. Conductivitatea aerului slab ionizat imers în cîmp magnetic. Rezonanța ciclotronică 130

Conf. dr. *P. D. Sima*, stud. *Cămărăscu Constantin* Brașov

4. Aparat pentru studiul autooscilațiilor 133

Prof. *Dumitru Manda*, Giurgiu

5. Legi statistice și legi dinamice 138

Prof. *N. Stănescu*, București

6. Pentru actualizarea învățămîntului fizicii. Să meditǎm asupra. 149

G. Munteanu, lector *I. Gavrilă*, Brașov

7. Importanța orientării tematicii cercurilor științifice studențești de fizică 154

N. Stănescu, L. Panaiotu, E. Teodoru, București

8. Contribuția concursurilor de fizică ale elevilor la îmbunătățirea învățămîntului fizicii în țara noastră 160

COMITETUL DE REDACȚIE

Constantin D. Albu, lector univ.; **Teodor Bohățiel**, asist. univ.; **Simion Bulgărea**, prof.; **Maria Codreanu**, prof.; **Andra Körner**, redactor; **Nicolae Martalogu**, conf. univ.; **Eleonora Mihul**, cercetător, **Ion C. Moisil**, conf. univ., **Alice Negoescu**, prof., **Ion C. Petrea**, conf. univ. **Victor Sahini**, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România); **Elena Teodoru**, prof. redactor șef.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

SERIA A

Volumul VIII, nr. 4 aprilie 1971

DESPRE CINETICA ELECTROCHIMICĂ

Conf. Dr. *LIVIU ONICIU*, Cluj

Capitol al dinamicii chimice, relativ recent apărut, cinetica electrochimică studiază viteza proceselor electrochimice care se desfăşoară la un electrod. Fundamentarea ei are loc după 1930 şi se datorează lui Butler, Gurney, Frumkin, Volmer, Horiuti şi Polanyi. După cel de-al doilea război mondial, graţie progresului înregistrat în tehnica electronică cercetările de cinetică electrochimică cunosc o dezvoltare spectaculoasă prin folosirea metodelor de relaxare (potenţiostatică şi galvanostatică, în diverse variante).

Caracteristica esenţială a proceselor electrochimice, criteriu distinctiv de procesele chimice obişnuite, este constituită de transferul de sarcină la interfaţa soluţie/electrod ; de obicei soluţia conţine unul sau mai mulţi electroliţi, iar electrodul e un metal. Procesul de transfer de sarcină la electrod este un exemplu de reacţie eterogenă controlată de potenţial. Dar, pe lîngă transferul de sarcină, proceselor de electrod le sînt caracteristice şi adsorbţia şi cataliza, fenomene întîlnite în cinetica chimică eterogenă. Făcînd apel, pe lîngă cunoştinţele de electrochimie (echilibru ionic, conductibilitate etc.) şi la cele de cinetică chimică, studiul cineticii de electrod trebuie precedat de însuşirea noţiunilor de electrochimie precum şi a celor de cinetică omogenă şi eterogenă, neelectrochimice .

Alături de cataliză, cinetica electrochimică este de o covîrşitoare importanţă practică în fabricarea diverselor surse electrochimice de energie electrică (acumulatoare, pile galvanice, pile de combustie) în galvanotehnică, coroziune, electrosinteză, chimie analitică etc.

* * *

Transferul de sarcină la interfaţa electrod/electrolit este ideea calitativ nouă, introdusă pentru a explica procesele de electrod. Dar pentru ca transferul de sarcină să aibă loc, este necesară o diferenţă de potenţial între cele două faze (electrod şi electrolit) numită *potenţial de electrod*. Pe de altă parte, orice reacţie este însoţită de o variaţie de entalpie liberă ΔG, a cărei valoare e negativă pentru procesele termodinamice posibile sau pozitivă pentru cele termodinamic imposibile. Se găseşte că variaţia de entalpie liberă ΔG a reacţiei globale este o funcţie liniară de potenţialul de electrod ε (acesta din urmă raportat la un standard convenţional, cum este de exemplu electrodul normal de hidrogen). Relaţia dintre ΔG şi ε este :

$$\mathrm{d}\Delta G = - zF\mathrm{d}\varepsilon \qquad (1)$$

unde z reprezintă numărul de sarcini transferat iar F numărul lui Faraday. Cu alte cuvinte, entalpia liberă a reacției de electrod poate fi controlată de potențialul de electrod. Trebuie să se menționeze că procesele de electrod se pot desfășura în două sensuri diferite : catodic (de exemplu depunerea pe electrod a unor ioni metalici) și anodic (de exemplu dizolvarea unor metale, prin trecerea din faza de rețea metalică în cea de ion solvatat).

Dacă se folosește o argumentație similară celei întîlnite la deducerea relației lui Arrhenius din cinetica chimică, se ajunge la concluzia că și entalpiile libere de activare ale proceselor catodic ($\Delta G_c^{\neq}$) și anodic($\Delta G_a^{\neq}$) sînt dependente de potențial :

$$\mathrm{d}\Delta G_c^{\neq} = \alpha z F \, \mathrm{d}\varepsilon \tag{2a}$$

și

$$\mathrm{d}\Delta G_a^{\neq} = -(1-\alpha) z F \, \mathrm{d}\varepsilon \tag{2b}$$

unde $\alpha < 1$ și se numește coeficient de transfer.

Variația entalpiei libere G în cursul reacției este redată în fig. 1. Pentru a ajunge în starea finală, specia reactantă trebuie să escaladeze bariera de potențial $\Delta G^{\neq}$ (entalpie liberă de activare) ; diferența dintre entalpia liberă în stare inițială și finală este tocmai ΔG (entalpia liberă de reacție). Numărul de molecule x care posedă energia de activare $\Delta G^{\neq}$ este :

$$x = N \exp\left(-\Delta G^{\neq}/RT\right) \tag{3}$$

unde N este numărul total de molecule, R constanta generală a gazelor, iar T temperatura absolută.

Coeficientul de transfer este experimental accesibil și în majoritatea cazurilor independent de potențial. În aproximația $\alpha = \text{const.}$, integrarea ecuațiilor (2a) și (2b) conduce la egalitățile :

$$\Delta G_c^{\neq} = \Delta G_{0,c}^{\neq} + \alpha z F \varepsilon \tag{4a}$$

$$\Delta G_a^{\neq} = \Delta G_{0,a}^{\neq} - (1-\alpha) z F \varepsilon \tag{4b}$$

Ecuațiile relevă caracterul mixt — chimic și electric — al interacțiunilor la care sînt supuși partenerii într-o reacție electrochimică. Deosebirea dintre $\Delta G_{0,i}^{\neq}$ și $\Delta G_i^{\neq}$ ($i = a$ și c) se poate înțelege ușor dacă se consideră o reacție oarecare și se urmărește variația lui G în cursul acesteia. Fie de exemplu reacția de electrod :

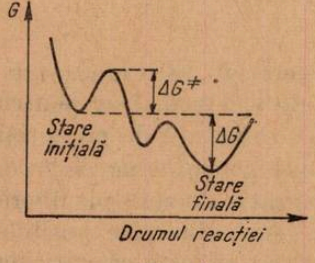


Fig. 1

$$H_3O^+ + e^- + M \rightarrow MH + H_2O \tag{5}$$

$$2MH \rightarrow 2M + H_2 \tag{6}$$

unde M reprezintă un centru de adsorbție pe electrodul metalic, pe care se reduce hidrogenul, iar MH un intermediar al reacției (atom de hidrogen adsorbit). Să observăm că în starea inițială a etapei (5) hidrogenul e o specie ionică (H_3O^+) pe cînd în stare finală una electric neutră (MH). De aceea entalpia liberă a stării inițiale va fi influențată de potențial, iar a stării finale nu. Ne așteptăm deci la o variație a energiei de interacțiune dintre particula ce se descarcă și cîmpul electric aplicat, pe măsură ce particula

se apropie de electrod pentru a se descărca și adsorbi. În fig. 2, A este curba de variație a entalpiei libere în absența cîmpului electric și B variația energiei de interacțiune electrostatică $F\varepsilon\,(z=1)$, în cursul etapei (5). Variația entalpiei libere de reacție în prezența cîmpului electric este redată de curba C, rezultanta compunerii primelor două. Se vede că α, coeficientul de transfer, este o măsură a proporției în care energia electrostatică participă la fixarea entalpiei libere de activare în reacția electrochimică. Evident, dacă reacția are loc în sens anodic, în locul mărimii $\alpha\varepsilon F$ figurează produsul $-(1-\alpha)\,\varepsilon F$.

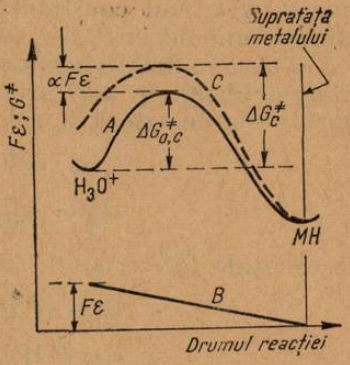


Fig. 2

Deoarece în procesele de electrod este implicat transferul de sarcină la interfața electrod/electrolit, viteza de reacție se poate exprima prin intermediul intensității de curent măsurate în circuit. Aceasta se poate demonstra ușor pe baza legii lui Faraday, care guvernează procesul de electroliză. Fie $-\mathrm{d}n$ variația (scăderea) numărului de moli de specie reactantă în intervalul de timp $\mathrm{d}t$, sub acțiunea cantității de electricitate $\mathrm{d}q$. Legea lui Faraday se scrie :

$$-\mathrm{d}n = \frac{\mathrm{d}q}{zF} = \frac{I\mathrm{d}t}{zF} \tag{7}$$

unde I este intensitatea curentului. Din egalitatea (7) rezultă :

$$-\frac{\mathrm{d}n}{\mathrm{d}t} = \frac{I}{zF} \tag{8}$$

relația exprimă proporționalitatea directă dintre viteza de reacție (număr de moli transformați în unitatea de timp) și intensitatea de curent. Pe unitatea de suprafață a electrodului viteza de reacție se scrie :

$$-\frac{\mathrm{d}n}{\mathrm{d}t}\cdot\frac{1}{s} = \frac{I}{s}\cdot\frac{1}{zF} \tag{9}$$

sau :

$$v = \frac{i}{zF} \tag{10}$$

unde s este suprafața electrodului, i densitatea de curent iar v viteza de reacție (pe unitatea de suprafață a electrodului). Ținînd cont de cele două sensuri posibile de desfășurare, mai avem :

$$v_c = \frac{i_c}{zF} \tag{10a}$$

$$v_a = \frac{i_a}{zF} \tag{10b}$$

unde i_c și i_a sînt densitățile de curent în sens catodic și respectiv anodic.

Introducînd valoarea explicită a lui v ($= k \Pi c_i$) se obține :

$$i_c = zFk_c \Pi c_i \tag{11 a}$$

$$i_a = zFk_a \Pi c_j \tag{11 b}$$

unde k_c și k_a sînt constantele de viteză ale reacțiilor în sens catodic și respectiv anodic, iar c_i și c_j concentrațiile de volum ale reactanților.

Folosind relația exponențială uzuală dintre constanta de viteză și entalpia liberă de activare și ținînd seamă de egalitățile (4a) și (4 b), constantele de viteză k_c și k_a se pot scrie sub forma :

$$k_c = k_{0,c} \exp [- \alpha(zF/RT) \varepsilon] \tag{12 a}$$

$$k_a = k_{0,a} \exp [(1 - \alpha) (zF/RT) \varepsilon], \tag{12 b}$$

iar ecuațiile (11 a) și (11 b) devin :

$$i_c = zF \Pi c_i k_{0,c} \exp [- \alpha(zF/RT) \varepsilon] \tag{13 a}$$

$$i_a = z F \Pi c_j k_{0,a} \exp [(1 - \alpha) (z F/RT) \varepsilon] \tag{13 b}$$

Ultimele două perechi de relații exprimă, printre altele, posibilitatea modificării vitezei de reacție cu potențialul ε al electrodului, după dorința experimentatorului. În unele cazuri, viteza specifică k_c sau k_a poate varia în limite foarte largi ; astfel, s-a studidat degajarea hidrogenului pe electrodul de mercur cu viteze a căror constantă k_c a variat cu 11 ordine de mărime. În multe cazuri, grație variabilității constantei de viteză, o reacție dată se poate studia în condiții cuprinse între reversibilitate și completă ireversibilitate, adică de la potențialul de echilibru $\varepsilon = \varepsilon_e$, unde viteza în sens anodic egalează viteza în sens catodic, pînă la valori $\varepsilon \gg \varepsilon_e$ sau $\varepsilon \ll \varepsilon_e$, cînd reacția se desfășoară practic într-un singur sens (anodic sau catodic), viteza în sensul contrar fiind disparentă. Prin urmare, cînd $\varepsilon = \varepsilon_e$, se poate scrie :

$$i_a = - i_c = i_0 \tag{14}$$

Valoarea comună i_0 a densităților de curent în cele două sensuri se numește densitate de curent de schimb și este un parametru des întîlnit în cinetica electrochimică. De exemplu compararea vitezelor cu care se desfășoară o reacție dată pe diverși electrozi se poate face prin intermediul densităților de curent de schimb i_0, corespunzătoare acestor electrozi. i_0 reprezintă curentul transportat pe unitatea de interfață electrod/electrolit în sens anodic și catodic, în condiții de echilibru.

Fiind reacție la interfață, procesul de transfer de sarcină este puternic influențat de proprietățile adsorbtive ale suprafeței ; de aceea cinetica reacțiilor electrochimice este foarte sensibilă la starea interfeței și în special la contaminarea ei. Un rol de seamă revine și transportului speciilor chimice angajate în reacție spre interfață sau de la interfață spre faza de volum. Cînd transferul de masă (difuzie) are loc mai lent decît oricare etapă a reacției de electrod, procesul devine controlat de difuzie. În general, în soluții apoase, activarea etapei difuzive nu reclamă mai mult de cîteva kcal/mol de reactant, pe cînd activitatea transferului de sarcină sau a vreunei etape chimice se face cu un consum mult mai mare de energie. Prin urmare determinarea energiei de activare a reacției de electrod permite să se stabilească natura etapei care controlează cinetica reacției.

Din relaţia lui Arrhenius, care leagă constanta de viteză de $\Delta G^{\neq}$ şi ecuaţiile (4 a) şi (4 b) rezultă :

$$k_c = k_{0,c} \exp [-\alpha(zF/RT)\,\varepsilon] \qquad (15\text{ a})$$

$$k_a = k_{0,a} \exp [(1-\alpha)(zF/RT)\,\varepsilon] \qquad (15\text{ b})$$

unde $k_{0,c}$ şi $k_{0,a}$ sînt constantele de viteză pentru condiţia $\varepsilon = 0$. Dar, deoarece această condiţie depinde de alegerea electrodului de referinţă, pentru compararea diverselor reacţii de electrod este preferabilă condiţia de echilibru, cînd $\varepsilon = \varepsilon_e$, iar valoarea netă a densităţii de curent $i = 0$; ε_e reprezintă potenţialul de echilibru al reacţiei de electrod. Or, la echilibru $v_c = v_a$, astfel că pentru reacţia generală, de ordinul I în ambele sensuri :

$$\mathrm{Ox} + ze^- \rightleftharpoons \mathrm{Red} \qquad (16)$$

se poate scrie :

$$[\mathrm{Ox}]\,k_{0,c} \exp [-\alpha(zF/RT)\,\varepsilon_e] = [\mathrm{Red}]\,k_{0,a} \exp [(1-\alpha)(zF/RT)\,\varepsilon_e] \qquad (17)$$

unde Ox şi Red simbolizează speciile oxidată şi redusă implicate în reacţia de electrod. În condiţii standard concentraţiile celor două specii sînt egale cu unitatea ($[\mathrm{Ox}] = [\mathrm{Red}] = 1$) iar $\varepsilon_e = \varepsilon^0$ şi deci :

$$k_{0,c} \exp [-\alpha(zF/RT)\,\varepsilon^0] = k_{0,a} \exp [(1-\alpha)(zF/RT)\,\varepsilon^0] = k_s \qquad (18)$$

unde k_s reprezintă valoarea comună a constantelor de viteză k_c şi k_a, în condiţii standard. k_s este un parametru care caracterizează viteza intrinsecă a unei reacţii de electrod date, depinde numai de natura reacţiei de electrod studiate şi este independent de electrodul ales, arbitrar, ca referinţă.

Cu ajutorul ecuaţiilor (15 a), (15 b), (17) şi (18) se poate exprima constanta de viteză la un potenţial ε oarecare, în funcţie de viteza specifică standard k_s ; ea este, de exemplu în sens catodic :

$$k_c = k_s \exp [-\alpha(zF/RT)(\varepsilon - \varepsilon^0)] \qquad (19)$$

şi

$$k_c = k_s \{[\mathrm{Red}]/[\mathrm{Ox}]\}^{\alpha} \exp [-\alpha(zF/RT)\,(\varepsilon - \varepsilon_e)] \qquad (20\text{ a})$$

sau

$$k_c = k_s \{[\mathrm{Red}]/[\mathrm{Ox}]\}^{\alpha} \exp [-\alpha(zF/RT)\,\eta] \qquad (20\text{ b})$$

unde $\eta = \varepsilon - \varepsilon_e$ este supratensiunea sau diferenţa dintre potenţialul de lucru (la care este polarizat electrodul) şi potenţialul de echilibru al electrodului. Prin înmulţirea lui k_c sau k_a cu concentraţia speciei reactante ([Ox] sau [Red]) şi cu produsul zF, se ajunge la curenţii parţiali i_c sau i_a :

$$i_c = zFk_c\,[\mathrm{Ox}] = zFk_s\,[\mathrm{Ox}]^{(1-\alpha)}\,[\mathrm{Red}]^{\alpha} \exp [-\alpha(zF/RT)\,\eta] \qquad (21\text{ a})$$

$$i_a = zFk_a\,[\mathrm{Red}] = zFk_s\,[\mathrm{Ox}]^{(1-\alpha)}\,[\mathrm{Red}]^{\alpha} \exp [(1-\alpha)(zF/RT)\,\eta \qquad (21\text{ b})$$

Să observăm că factorii preexponenţiali sînt aceiaşi în ecuaţiile (21 a) şi (21 b) şi că la supratensiune nulă ($\varepsilon = \varepsilon_e$) factorii exponenţiali

devin unitari. Rezultă că factorii preexponenţiali reprezintă tocmai densitatea curentului de schimb i_0:

$$i_0 = zFk_s [\mathrm{Ox}]^{(1-\alpha)} [\mathrm{Red}]^{\alpha} \qquad (22)$$

Cu ajutorul ecuaţiilor (21 a), (21 b) şi (22) se poate exprima densitatea de curent netă i, ca o funcţie de supratensiune:

$$i = (i_a - i_c) = i_0 \{\exp [-\alpha(zF/RT)\,\eta] - \exp [(1-\alpha)(zF/RT)\,\eta]\} \qquad (23)$$

Ecuaţia (23) este de mare importanţă deoarece ea permite determinarea parametrilor α şi i_0 din măsurători ale densităţii de curent nete i în funcţie de supratensiunea η. Cunoscînd pe i_0 şi variaţia sa cu concentraţia, se poate calcula k_s şi ordinul de reacţie, folosind relaţia (22) sau o formă mai generală a ei. Trebuie să se menţioneze că atît i_0 cît şi k_s îşi au analogii lor în cinetica chimică omogenă; în schimb α este un parametru specific reacţiilor de electrod, fără corespondent în cinetica omogenă.

Dacă reacţia de electrod este lentă, adică i_0 şi k_s sînt mici, evaluarea lui α şi i_0 pe baza relaţiei (23) este simplă. Astfel, dacă se realizează valori mari ale supratensiunii η, una din exponenţialele egalităţii (23) se poate neglija; de exemplu dacă supratensiunea e mare şi negativă, se poate neglija cea de-a doua exponenţială şi logaritmînd se ajunge la:

$$\eta = (RT/\alpha zF) \ln i_0 - (RT/\alpha zF) \ln i \qquad (24)$$

Se reprezintă grafic η în funcţie de logaritmul densităţii de curent şi din coeficientul unghiular al dreptei se calculează α, iar din ordonata la origine valoarea lui i_0. Relaţia (24) este cunoscută sub numele de ecuaţia lui Tafel.

Dacă însă reacţia de electrod este foarte rapidă, realizarea de supratensiuni mari se soldează cu trecerea unor curenţi foarte intenşi, chiar dacă se apelează la tehnica de relaxare (deplasarea sistemului din starea de echilibru, de exemplu prin modificarea bruscă a potenţialului şi urmărirea intensităţii de curent în cursul revenirii la noua stare de echilibru). În acest caz se foloseşte condiţia $\eta \ll R\,T/\alpha\,z\,F$, cînd liniarizarea ecuaţiei (23) se face prin dezvoltarea în serie şi neglijarea termenilor superiori. Rezultatul dezvoltării în serie astfel efectuate este:

$$i = -i_0(RT/zF)\,\eta \qquad (25)$$

Se vede că, de astă dată, experimental, se obţine numai i_0.

Din păcate, multe reacţii de electrod sînt mai complexe decît exprimă reacţia (16); ele se desfăşoară după un mecanism în mai multe etape consecutive, printre care şi etape de adsorbţie, ceea ce îngreunează tratarea lor din cauza lipsei unei bune fundamentări teoretice a interacţiunii cu suprafaţa electrodului.

În încheiere trebuie menţionat şi faptul că cercetarea unor procese de electrod este posibilă pe cale polarografică; electrodul picător de mercur se dovedeşte a fi un sistem experimental deosebit de potrivit, graţie reproductibilităţii şi fidelităţii rezultatelor. Dar nu rareori aceste avantaje sînt contracarate de marele dezavantaj al complicaţiilor pe care le introduce transportul de masă reactivă la electrod.

BIBLIOGRAFIE

1. *Parsons, R.*, J. Chem. Educ., **1968** (6), 390.
2. *Srinivasan, C. S., Wroblowa, H.* și *Bockris, J. O'M.*, Advan. Electrochem. Electrochem. Eng., 1968, **7**, 352.
3. *Bauer, H. H.*, J. Electroanal. Chem., 1968, **16**, 419.
4. *Milazzo, G.*, Electrochemistry, Elsevier Publishing Co., Amsterdam-London- New York, 1963.
5. *Conway, B. E.*, Theory and Principles of Electrode Processes, Ronald Press Co., New York, 1968.

TEHNICA SEPARĂRII Co DE Ni PORNIND DE LA SISTEMUL BINAR CoS — NiS

LUPU M. DUMITRU, Constanța

Metoda se referă la analiza unor minereuri, aliajelor cu conținut de Ni și Co, precum și la analiza amestecurilor de săruri ale acestor elemente.

În primul caz, după prelucrarea minereului sau dizolvarea aliajului respectiv (ticonium, contracid) sub acțiunea unui dizolvant (acid), ionii din sărurile respective (azotați, cloruri sau sulfați) de Ni și Co, precum și a altor elemente însoțitoare (a se urmări schema generală de lucru) dizolvate în apă, vor fi precipitați cantitativ sub formă de sulfuri.

În al doilea caz, ionii din amestecul de săruri (cloruri, azotați, acetați, sulfați etc.) de Ni și Co, solubile în apă, vor fi de asemenea precipitați cantitativ sub formă de sulfuri.

Operațiile pentru aducerea Ni și Co sub formă de sulfuri sînt redate în schema generală de lucru după procedeele cunoscute în literatura de specialitate (2,3,4).

În ceea ce privește operațiile următoare (începînd îndeosebi cu barbotarea Cl_2) pentru separarea cantitativă a Co de Ni, pornind de la amestecul binar NiS—CoS prin metoda descrisă în lucrarea de față, nu sînt cunoscute, pînă în prezent, ca metode de lucru în acest sens.

Tehnica acestei metode se bazează totuși pe proprietăți cunoscute ale combinațiilor de Ni și Co.

Modul de lucru

Toate operațiile se execută sub nișă și cu mare precauție.

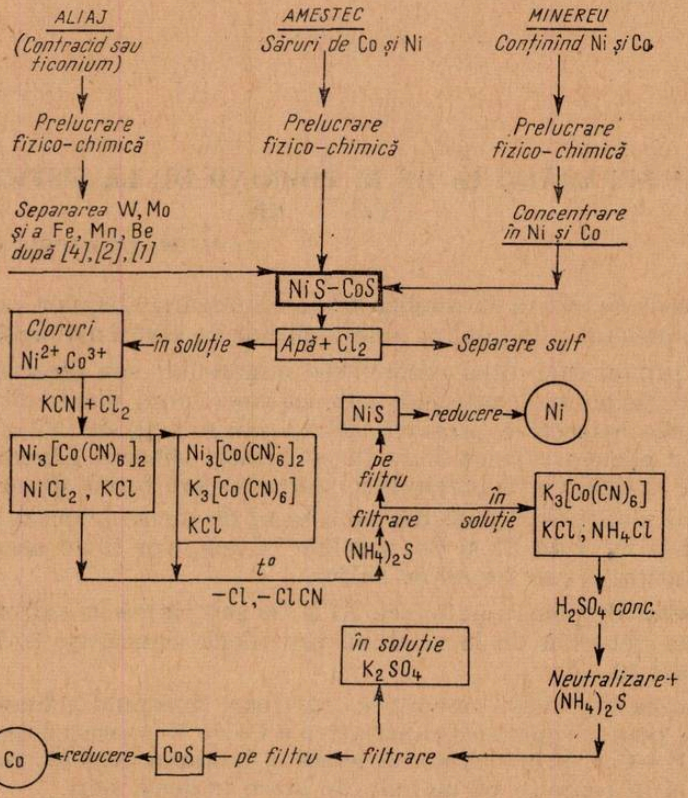
Amestecul de NiS cu CoS, obținut în urma operațiilor descrise în schema generală de lucru, se spală bine cu apă, apoi se trece cantitativ într-un vas conic, se adaugă apă distilată ca să acopere precipitatul și se barbotează un curent de Cl_2 pînă la dizolvarea completă a precipitatului. Se filtrează pentru îndepărtarea sulfului aglomerat, iar filtratul se încălzește pentru eliminarea excesului de Cl_2. La filtratul ce conține $NiCl_2$, $CoCl_2$ și $CoCl_3$ se adaugă cu atenție soluție concentrată de KCN (NaCN) pînă la completa dispariție a precipitatului ce se formează inițial. (O porțiune din soluția cu $NiCl_2$ și $CoCl_3$ se poate folosi pentru o dozare volumetrică de control intermediar).

Prin soluția ce conține $K_2[Ni(CN)_4]$, $K_4[Co(CN)_6]$ și $K_3[Co(CN)_6]$ se barbotează timp de 5 minute un curent de Cl_2 sub acțiunea căruia au loc procesele redox conform ecuațiilor :

$$K_2[Ni(CN)_4] + 4Cl_2 = NiCl_2 + 2KCl + 4ClCN$$

$$K_4[Co(CN)_6] + 1/2Cl_2 = K_3[Co(CN)_6] + KCl$$

$$2K_3[Co(CN)_6] + 3NiCl_2 = Ni_3[Co(CN)_6]_2 + 6\ KCl$$



Schema generală a operațiilor pentru separarea Co de Ni din amestecul binar NiS — CoS.

Apariția precipitatului de culoare verde-cenușie se datorește formării compusului $Ni_3[Co(CN)_6]_2$. Tot amestecul se încălzește apoi pentru îndepărtarea completă a ClCN format și a excesului de Cl_2. Se adaugă sub agitare $(NH_4)_2S$, proaspăt preparată, în mic exces cînd :

$$NiCl_2 + (NH_4)_2S = NiS + 2NH_4Cl \text{ și}$$

$$Ni_3[Co(CN)_6]_2 + 3(NH_4)_2S = 3NiS + 2(NH_4)_3\ [Co(CN)_6]$$

apoi prin filtrare se separă NiS de soluția ce conține $K_3[CO(CN)_6]$, $(NH_4)_3\ [Co(CN)_6]$, KCl, NH_4Cl și $(NH_4)_2S$.

Precipitatul de NiS, după spălare și uscare, se supune procesului de reducere după una din metodele descrise în literatura de specialitate (1) rezultînd Ni metalic.

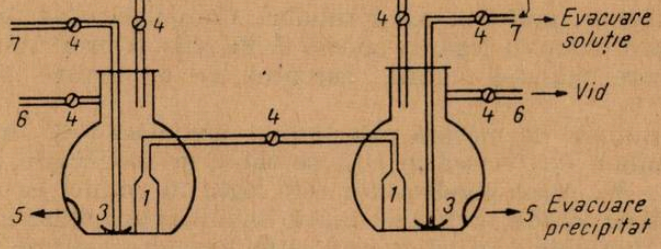
Pe o porțiune din soluția ce conține cobaltul se poate încerca prezența sau absența nichelului folosind ca reactiv dimetilglioxima. Dacă să lucrează corect, nu se constată prezența Ni, ceea ce denotă o separare cantitativă a acestuia de Co.

Soluția rămasă de la filtrare pentru separarea NiS, se tratează cu H_2SO_4 concentrat și se supune evaporării pînă ce nu se mai degajă vapori albi (atenție!, toxicitate ridicată). Se reia apoi cu apă ditilată sub agitare și se filtrează pentru îndepărtarea sulfului aglomerat. În soluție există sărurile K_2SO_4, $CoSO_4$ și eventual $(NH_4)_2SO_4$. (O porțiune din această soluție se poate folosi pentru dozarea volumetrică a Co^{2+} în scopul unui control intermediar). La această soluție neutră sau slab amoniacală se adaugă soluție proaspătă de $(NH_4)_2S$ pentru precipitarea completă a cobaltului. Prin filtrare se separă CoS de soluția se conține K_2SO_4 (care poate fi recuperat) în amestec cu cantități mici de $(NH_4)_2SO_4$ și $(NH_4)_2S$.

CoS este supusă apoi procesului de reducere (1) rezultînd Co metalic.

Practic se demonstrează matematic că prin aplicarea acestei tehnici de lucru, separarea Ni de Co se realizează cu un randament de peste 99,9%.

Notă. Dacă se lucrează cu cantități mai mari toate operațiile, începînd de la amestecul binar NiS—CoS, pot fi executate, în mod reversibil, cu ajutorul instalației a cărei schemă este redată în figura de mai jos.



1) tub cu vată de sticlă (filtru); 2) pîlnii cu robinet pentru adăugarea reactivilor; 3) agitator magnetic; 4) robinete.

BIBLIOGRAFIE

1. *Ripan R., Ceteanu I.* — Chimia metalelor vol. II. Ed. D. P. Buc. 1969
2. *Ripan R., Popper E.,* — Chimia analitică calitativă
   Liteanu C. — semimicroanaliza — Ed. D. P. Buc. 1963
3. *Liteanu C.* — Chimie analitică cantitativă-volumetria-Ed. D. P. Buc. 1964
4. *Schreiter W.* — Metalele rare Ed. Tehnică Buc. 1966
5. *Mironescu M., Tutoveanu A.* — Tehnica lucrărilor de laborator Ed. Tehnică Buc. 1967
6. *Gawrin-Hixson* — Ind. Engng. Chem. *41* 2298 (1948)
7. *Garwin-Hixson* — Ind. Engng. *41* 2309 (1948)
8. *Rosenheim-Huldschincky* — Ber. dtsch. Chem. Ges. *34*, 1050 (1901)
9. *Posenheim-HuldscÇinsky* — Ber. dtsch. Chem. Ges. *34*, 3913 (1901)

CONDUCTIBILITATEA AERULUI SLAB IONIZAT IMERS ÎN CÎMP MAGNETIC. REZONANTA CICLOTRONICA.

N. GHERBANOVSCHI şi *ST. CORBU* Bucureşti

Măsurătorile de conductibilitate a gazelor slab ionizate situate în cîmp magnetic, s-au realizat cu ajutorul unei instalaţii, a cărei schemă de ansamblu este reprezentată în fig. 1.

Astfel, folosind o metodă de rezonanţă, s-a măsurat variaţia conductibilităţii gazului slab ionizat din regiunea grilă acceleratoare — anod a unui tub de descărcare cu catod cald, în funcţie de valorile unui cîmp

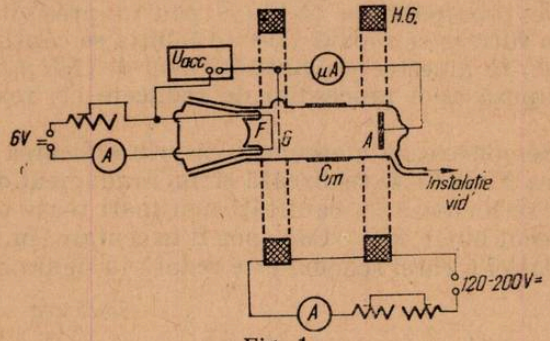


Fig. 1

magnetic exterior, uniform, axial tubului. Cîmpul electric din regiunea grilă-anod este nul prin legarea anodei **A** la grila **G** printr-un microampermetru, care măsoară astfel curentul de descărcare în regiunea grilă anod.

Condensatorul de măsură este format din două folii dreptunghiulare de aluminiu, fixate faţă în faţă pe tubul de descărcare, în regiunea amintită (**G—A**). Acest condensator este legat în paralel cu un condensator variabil de acord C_v avînd o variaţie liniară a capacităţii în intervalul 1 — 11 pF. Ansamblu de condensatori astfel format constituie capacitatea unui rezonator **LC** a cărui selfinductanţă este realizată cu ajutorul unui solenoid avînd un număr mai mic sau mai mare de spire, după cum frecvenţa de lucru este mai mare, respectiv, mai mică.

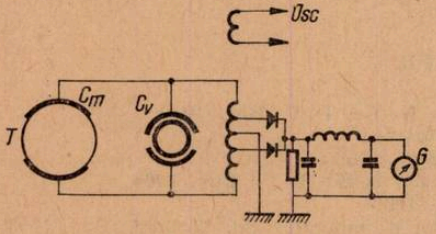


Fig. 2

Un circuit de redresare, format din două diode de germaniu şi o celulă de filtrare, culege tensiunea între două spire situate de o parte şi de alta a mijlocului solenoidului de care era fixată priza mediană a circuitului de redresare (Fig. 2). Tensiunea redresată este măsurată cu un galvanometru cu constanta $C_v = 8 \cdot 10^{-8}$ Vm/mm şi perioada proprie $T_0 = 3{,}9$ s.

Rezonatorul **LC** este cuplat inductiv, larg, cu un generator de Î.F. constant în frecvenţă şi tensiune de ieşire, caracteristici care asigură în lipsa descărcării în tub, o aceeaşi deviaţie maximă a spotului galvanometrului atunci cînd rezonatorul este acordat pe frecvenţa de lucru a generatorului prin intermediul condensatorului variabil C_v.

Valorile obținute pentru factorul de calitate Q al rezonatorului (Fig. 3) duc la concluzia că circuitul de măsură folosit pentru punerea în evidență a amortizării rezonatorului cînd există descărcare în tub, se comportă ca un microvoltmetru cu impedanță mare la intrare.

Rezonanța ciclotronică electronică a plasmei reci.

Se consideră următoarea situație : între armăturile condensatorului de măsură, din circuitul rezonant **LC** se află gazul slab ionizat produs de electronii care trec prin grila acceleratoare ale tubului de descărcare cu catod cald. Ciocnirile care predomină, dat fiind condițiile parametrice a descărcării (presiune, intensitatea jetului electronic incident), sînt de tipul electron-moleculă, electron-perete, adică ciocniri binare (gazul este de tip Lorentzian).

Cîmpul electric de înaltă frecvență $E = E_0 \cos\omega t$ dintre armăturile condensatorului de măsură, perpendicular pe cîmpul magnetic de inducție B, poate fi considerat pentru orice moment de timp t ca fiind semisuma a doi vectori, $E_+ = E_x + jE_y$ și $E = E_x - jE_y$, care se rotesc în sens contrar unul față de celălalt, fiecare avînd viteza unghiulară, (frecvența circulară) ω, astfel încît :

$$E = \frac{1}{2}(E_x + jE_y) + \frac{1}{2}(E_x - jE_y).$$

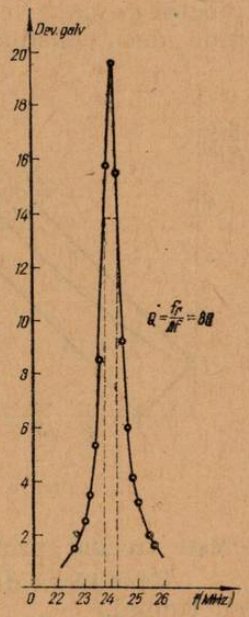


Fig. 3

Componenta E_+ este aceea care produce fenomenul de rezonanță ciclotronică pentru $\omega = \omega_e \left(\frac{eB}{m}\right)$, deoarece, rotindu-se în același sens și cu aceeași viteză ca electronii în mișcarea lor giromagnetică, intereacțiunea dintre cîmpul electric E_+ și electron devine cumulativă, mediului dintre armăturile condensatorului comunicîndu-i-se o conductivitate σ.

În cazul cel mai general traiectoria pe care o descrie electronul în cîmp magnetic constant în prezența cîmpului rotitor E_+ este parcursă de acesta cu viteza totală :

$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2 = \frac{e}{m_e}\vec{E}_+ t + \vec{\omega}_e \wedge \vec{r}_e + \vec{v}_{11}.$$

Primul termen $e/m_e \vec{E}_+ t = v_1$, corespunde unei mișcări spiralate, avînd viteza unghiulară $\omega = \omega_e$; al doilea termen, unei rotații cu aceeași viteză unghiulară ; cel de-al treilea termen unei translații paralelă cu $\vec{B}$. Viteza inițială determină pe $\vec{r}_e$ și $\vec{v}_{11}$. Dacă aceasta este nulă mișcarea se reduce la componenta spiralată ; în acest caz viteza și raza corespunzătoare mișcării de girație magnetică variază proporțional cu timpul conform expresiilor :

$$v_1 = \frac{e}{m_e} E_+ t \qquad r = \frac{e}{m_e \omega_e} E_+ t = \frac{E_+}{B} t.$$

Dacă viteza inițială are componentă perpendiculară pe $\vec{B}$, $v_\perp(0)$ compunerea mișcării în spirală și de rotație $\vec{\omega}_c \wedge \vec{r}_c$, depinde de faza inițială φ dintre vectorii $\vec{\omega}_c \wedge \vec{r}_c$ și $\vec{E}_+$.

Faza φ rămîne aceeași pentru orice moment de timp t (pentru momentul de timp t cei doi vectori fac același număr de rotații $\omega_c t$, φ rămînînd, deci, constant) astfel încît viteza $v_\perp$ are următoarea expresie :

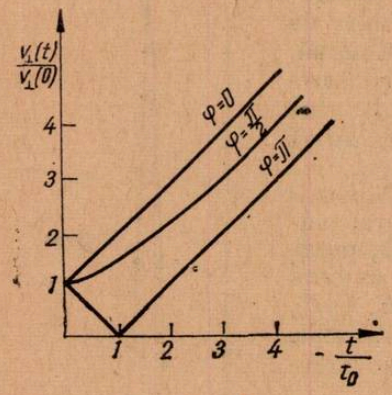


Fig. 4

$$v_\perp(t) = v_\perp(0)\left[1 + \frac{2t}{t_0}\cos\varphi + \frac{t^2}{t^2}\right]^{1/2}$$

unde :

$$t_0 = \frac{m_e v_\perp(0)}{e E_+}.$$

Variația raportului $v_\perp(t)/v_\perp(0)$ în funcție de t/t_0 este reprezentată în fig. 4, pentru diverse valori ale lui φ.

Se observă că pentru $0 < \varphi < \frac{\pi}{2}$ viteza $v_\perp$ crește continuu, iar pentru $\frac{\pi}{2} > \varphi > \pi$, această viteză mai întîi descrește trecînd printr-un minim, după care începe să crească.

Rezultă că după un timp $t = t_0$, $v_\perp$ începe să crească proporțional cu timpul.

În condiții experimentale electronul nu poate fi accelerat la nesfîrșit, el suferind o ciocnire fie cu o altă particulă, fie cu peretele tubului de descărcare. Efectul peretelui este predominant dacă între l, dimensiunea lineară caracteristică a incintei într-un plan perpendicular pe $\vec{B}$, și ν_1, frecvența medie de ciocnire, există inegalitatea :

$$l \ll \frac{e}{m_e \omega}\frac{E_+}{\nu_1}.$$

Pentru cazul cînd inegalitatea de mai sus este inversă, ciocnirile între particule vor limita acțiunea de accelerare datorată lui E_+. Pe de altă parte rezonanța ciclotronică electronică practic dispare dacă :

$$\omega_c \sim \nu_1.$$

Pentru o valoare dată a lui ν_1 (cu alte cuvinte pentru o valoare a presiuni din tub în primul rînd, pentru anumite condiții parametrice ale descărcării — în general) se poate alege ordinul de mărime al cîmpului magnetic (deci a frecvenței de lucru ω) pentru a se obține rezonanța ciclotronică.

În acest caz conductivitatea mediului analizat mai sus este dată de formula [2] :

$$\sigma^{\pm} = \frac{n_e e^2}{m_e}\left[\frac{\nu_1}{\nu_1^2 + (\omega \mp \frac{e}{m_e} B)^2}\right]$$

(semnele + şi — sînt folosite pentru calculul lui σ corespunzător acţiunii lui E_+ şi E_-). Formula de mai sus este valabilă numai dacă este satisfăcută inegalitatea $\omega \gg \nu_1 \gg |\omega - \omega_e|$ şi spunem că în acest caz se realizează rezonanţa ciclotronică electronică parte centrală (r.c.c.) (Fig. 5).

În condiţiile metodei propuse, la rezonanţa ciclotronică σ are valoare maximă, circuitul rezonant **LC** prezintă un maxim de amortizare, iar spotul galvanometrului indică o deviaţie minimă pe scală faţă de zeroul acesteia.

Ţinînd seama de cele discutate mai sus se poate realiza o instalaţie pentru etalonarea bobinelor în grupaj H — G [5].

Dacă gazul ionizat trece practic într-un gaz electronic, la presiuni foarte scăzute în tubul de descărcare, astfel încît:

$$\omega \gg |\omega - \omega_e| \gg \nu_1$$

apare tipul de rezonanţă, ciclotronică părţi laterale (r.c.l.).

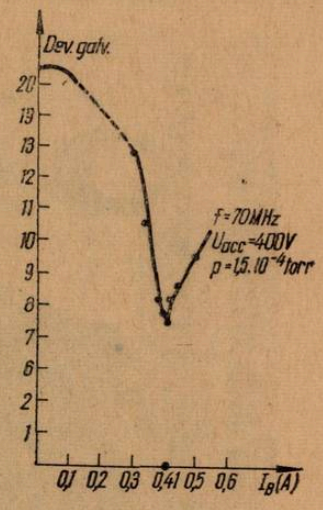


Fig. 5

BIBLIOGRAFIE

1. — *Th. V. Ionescu, C. Mihul,* — Journ. Phys. Radium, *1* (1935).
2. — *Th. V. Ionescu,* — Rev. Roum. Phys., *2*; 131 (1965).
3. — *J. L. Delcroix,* Phsysique des plasmas, vol. I — II, Ed. Dunod, Paris (1966).
5. — *N. Gherbanovschi,* Rev. Roum. Phys. *10*; 905 (1968).
4. — *N. Gherbanovschi,* Stud. Cercet. Fiz., *4* (1970).

APARAT PENTRU STUDIUL AUTOOSCILAŢIILOR.

Conf. dr. ing. *SIMA D. PETRE,* Student *CĂMĂRĂSCU CONSTANTIN,* Braşov

1 — **Consideraţii generale.** Autooscilaţiile unui sistem sînt produse de însăşi mişcarea sistemului, fără intervenţia unei acţiuni exterioare periodice. Acţiunea exterioară este constantă, iar forţa variabilă care întreţine mişcarea (forţa perturbatoare) este generată de mişcarea însăşi. Prin urmare, este vorba de autoexcitaţie.

În vederea efectuării studiului autooscilaţiilor am construit aparatul din fig. 1. — pendul calat cu ajutorul unei mufe de cuplaj pe un arbore care se află în mişcare de rotaţie uniformă.

În figura (1, a) se arată vederea din faţă a aparatului, iar în figura (1, b) vederea de sus.

Aparatul pune în evidenţă faptul că frecarea dintre arbore şi mufa de cuplaj, ca orice frecare dintre două corpuri solide scade, în anumite limite, odată cu creşterea vitezei lor relative.

2. — **Descrierea aparatului pentru studiul oscilaţiilor.** Aparatul se compune dintr-o carcasă de material plastic transparentă, necesară facili-

tării observației elementelor componente și cuplajelor de legătură. În construcția aparatului s-a prevăzut un transformator „coborîtor" de tensiune, pentru micșorarea tensiunii de la rețea, de la 220V la o ten-

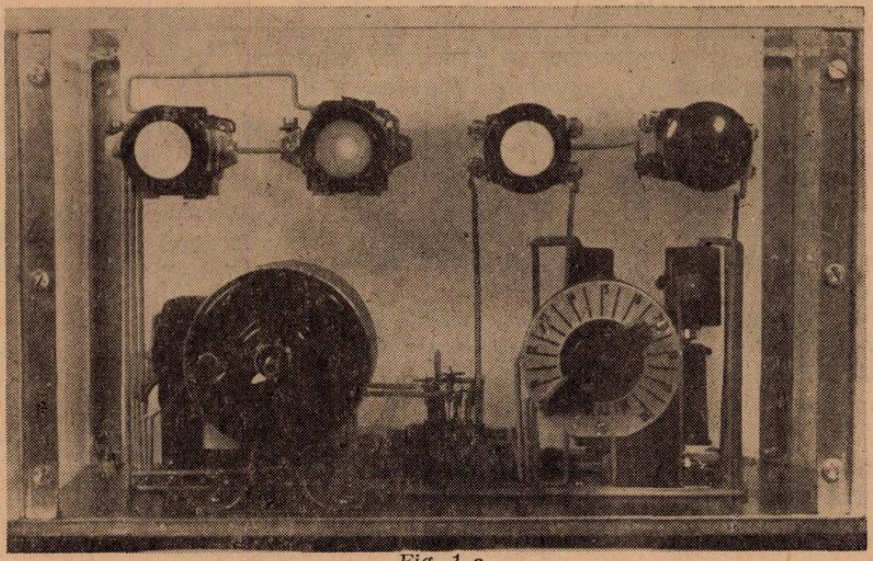


Fig. 1 a

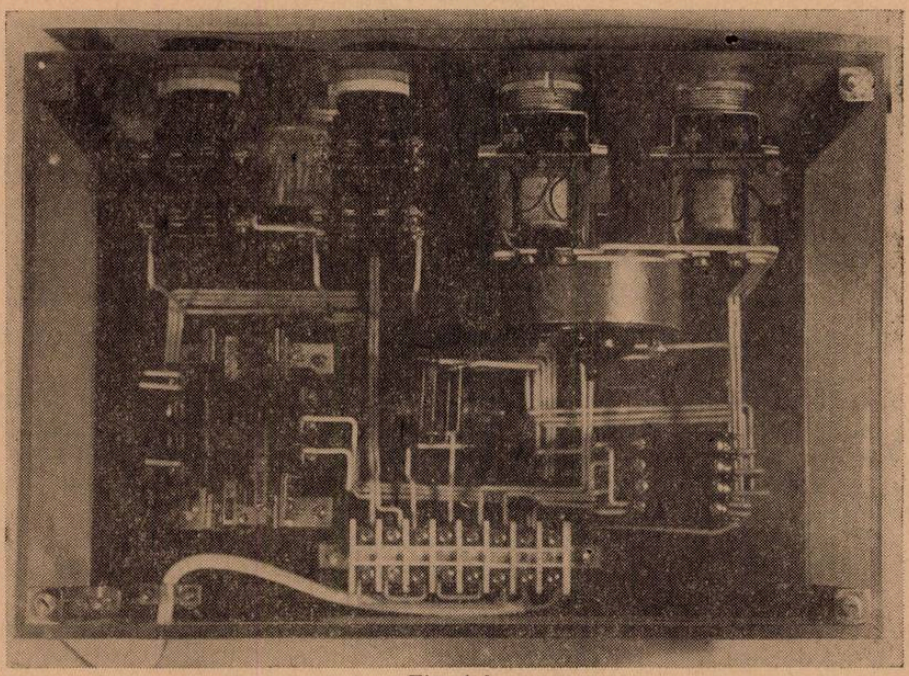


Fig. 1 b

siune de lucru de 12 V. Redresorul de 12 V are rolul alimentării motorului de curent continuu și deci a redresării curentului alternativ de joasă tensiune obținut la transformator.

S-a ales un redresor cu plăci de seleniu. Motorul de curent continuu pentru tensiunea 12V are o putere utilă de 134 W și este prevăzut la unul din capetele rotorului cu o bielă, montarea bielei pe arbore făcîndu-se printr-un lagăr de alunecare.

În fața bielei, pe care este rigidizat un ac indicator, s-a prevăzut un cadran divizat în grade sexagesimale, necesar măsurării deviațiilor unghiulare ale bielei.

Pentru conectarea și deconectarea aparatului s-au prevăzut două butoane de comandă, iar pentru controlul optic al funcționării aparatului s-au montat două lămpi de control cu transformatori, una pentru mersul în gol, avînd culoarea albă și alta pentru mersul în sarcină, de culoare roșie.

Reostatul circular de pornire permite antrenarea motorului la diferite turații, turația maximă fiind de 1 000 rot/min.

În cadrul cuplajelor, s-au prevăzut și 12 conectori de legătură, vizibili în partea inferioară (la bază) a aparatului.

Aparatul mai posedă și un cadran exterior de alimentare cu tensiune de la rețeaua de 220 V, care face legătura cu grupul celor 12 conectori.

În fig. 2 se prezintă schema de principiu a aparatului, iar în fig. 3 schema de conexiuni.

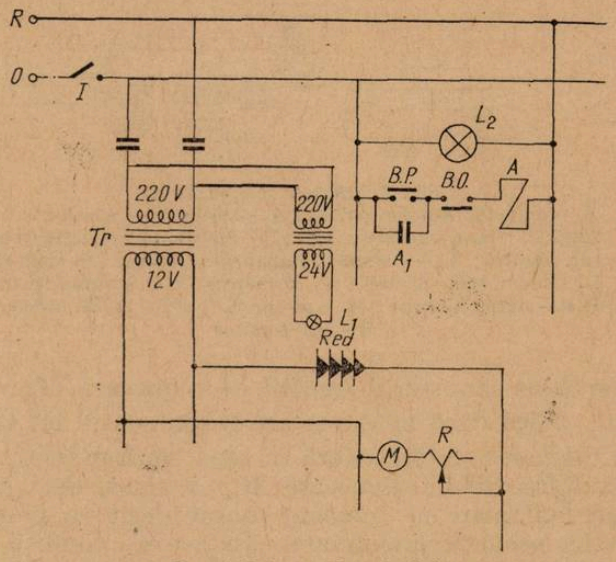


Fig. 2 Schema de principiu
A — contactor bipolar AC 310 A—220 V; Tr.— transformator 22/12 V; Red.— redresor; R — rezistență reglabilă (regl. turația motor) L_1 — lampă semnalizare (tens. în motor) L_2 — lampă semnalizare (tens. în aparat); B. O — buton oprire; B. P — buton pornire; M — motor C. C.; P — priză bipolară; I— întrerupător

3 — **Considerații teoretice.** În ipoteza că momentul frecării de alunecare M_{fr}. dintre arbore și bucșă este o funcție descrescătoare de viteza lor relativă :

$$\omega = \Omega - \dot{\theta} \qquad (1)$$

ecuaţia diferenţială a mişcării pendulului va fi :

$$J\frac{d^2\theta}{dt^2} + h\frac{d\theta}{dt} + mgl\theta = M_{fr}(\Omega - \dot{\theta}), \qquad (2)$$

în care :

J este momentul de inerţie al pendulului în raport cu axa de rotaţie ;
θ — unghiul de rotire al pendulului ;
h — coeficientul de frecare cu mediul ;
m — masa pendulului ;
l — lungimea pendulului.
g — acceleraţia gravitaţiei.

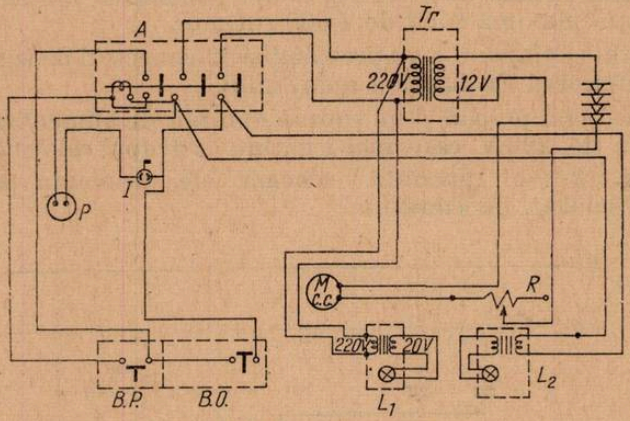


Fig. 3 Schema de conexiuni
A—contactor bipolar AC 310 A—220V ; Tr.—transformator 220/12V ; Red.—redresor 12V ; R—rezistenţă reglabilă (regl. tur. motor) ; L_1 — lampă semnalizare (tens. în motor) L_2—lampă semnalizare (tens. în aparat) : B. O.—buton oprire: B.P.—buton pornire ; M — motor C.C ; P — priză bipolară I—întrerupător

Se observă că momentul frecării de alunecare M_{fr} este mai mare pentru $\dot{\theta} > 0$, adică dacă mişcarea are loc în sensul lui Ω, decît pentru $\dot{\theta} < 0$, cînd mişcarea se efectuează în sens contrar lui Ω.

Momentul frecării de alunecare M_{fr} variază, deci, ca un efect al mişcării, fiind mai mare ca moment motor decît ca moment rezistent, provocînd astfel oscilaţii întreţinute. În aceste condiţii se spune că avem o autoexcitare, sau că variaţia momentului este un efect de reacţiune a mişcării oscilatorii asupra mişcării arborelui.

În cazul echilibrului, $\theta = \theta_0 = \text{const.}$, prin urmare din ecuaţia diferenţială a mişcării rezultă :

$$\theta_0 = \frac{M_{fr}(\Omega)}{mgl}; \qquad (3)$$

pendulul este deviat din poziţia verticală în sensul de rotaţie al arborelui.

Dacă se consideră oscilaţiile în jurul poziţiei de echilibru, introducînd notaţiile :

$$\theta = \theta_0 + \Psi,$$

rezultă :

$$\dot{\theta} = \dot{\Psi};$$

$$\ddot{\theta} = \ddot{\Psi},$$

unde Ψ este deviația unghiulară măsurată față de poziția de echilibru, ecuația diferențială (2) devine :

$$J\frac{d^2\Psi}{dt^2} + h\frac{d\Psi}{dt} + mgl\,\Psi = M(\Omega - \dot{\Psi}) - M(\Omega). \qquad (4)$$

În cazul în care $\dot{\Psi}$ se consideră mic, rezultă aproximativ :

$$M(\Omega - \dot{\Psi}) = M(\Omega) - H\dot{\Psi},$$

în care H este panta caracteristicii de frecare (coeficientul unghiular al tangentei) pentru $\dot{\theta} = \Omega$ (fig. 4).

Deoarece H este negativ, avem :

$$M(\Omega - \dot{\Psi}) = M(\Omega) + H\dot{\Psi}.$$

Introducînd în ecuația (3) se obține :

$$J\frac{d^2\Psi}{dt^2} + [h - |H|]\frac{d\Psi}{dt} + mgl\,\Psi = 0, \qquad (5)$$

adică ecuația diferențială a oscilatorului liniar cu frecare vîscoasă, fără termenul perturbator.

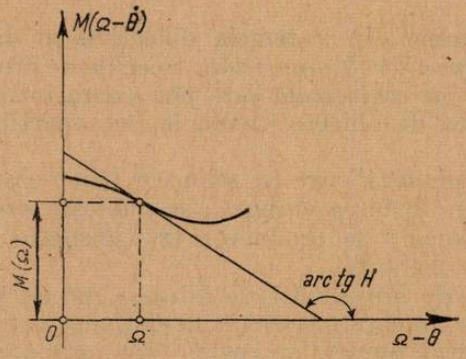


Fig. 4

Se pot ivi următoarele cazuri :

1) $h > |H|$; în acest caz are loc o amortizare a oscilațiilor, care este însă mai mică decît în cazul în care pendulul ar fi suspendat fără frecare.

Dacă $h > |H|$ are loc o creștere treptată a amplitudinii oscilațiilor. În cazul în care valoarea lui h se apropie de $|H|$, oscilațiile pendulului se micșorează sau cresc foarte încet, începînd cu amplitudinea determinată de condițiile inițiale.

2) $h < |H|$; în acest caz creșterea oscilațiilor se produce pînă cînd se stabilesc autooscilațiile în urma neliniarității caracteristicii de frecare,

amplitudinea acestor autooscilații nedepinzînd de condițiile inițiale. Notînd obișnuit:

$$\frac{h-|H|}{J}=2n\,;\quad \frac{mgl}{J}=p^2\,;\quad q^2=p^2-n^2,$$

soluția ecuației diferențiale (5) va fi:

$$\Psi=e^{-nt}\,(C_1\cos qt+C_2\sin qt). \tag{6}$$

Din (6) se vede că natura mișcării depinde de parametrii n și q, precum și de constantele C_1 și C_2 care depind de condițiile inițiale.

Pentru $n>0$, C_1 și C_2 diferiți de zero, pendulul rămîne un timp în poziția de echilibru:

$$\Psi=0\,;\quad \theta=\theta_0.$$

Pentru $n=0$, adică M_{fr} independent de Ω, C_1 și C_2 diferiți de zero, pendulul oscilează sau rămîne în echilibru după cum $q^2>0$ sau $q^2<0$.

Pentru $n<0$, pendulul oscilează sau tinde să capete o mișcare de rotație, după cum $q^2>0$ sau $q^2<0$.

LEGI STATISTICE ȘI LEGI DINAMICE

Prof. *DUMITRU MANDA* Giurgiu

1. — Evenimentele din sistemele obiective se descriu în științele naturii cu ajutorul *speciilor de proprietăți*. Speciile de proprietăți se definesc cu ajutorul *relațiilor de echivalență* care pot exista între obiectele oricărei perechi din mulțimea de obiecte cărora le pot aparține speciile de proprietăți.

Termenul „eveniment" are în științele fizico-chimice o accepțiune mai generală decît în vorbirea curentă; se numește eveniment nu numai faptul că într-un moment se produce o transformare locală ci și faptul că acolo are loc o constanță.

Dintre speciile de proprietăți, se folosesc, pe cît posibil, speciile de *proprietăți ordonabile*, în care proprietățile distincte pot fi adunate într-un șir asemănător cu șirul numerelor reale. Sînt ordonabile speciile între ale căror proprietăți distincte din orice pereche există o *relație de ordonare*.

Specia de proprietăți a perechilor de puncte ($A_1 \cdot A_2$) într-un sistem de referință plan, numită depărtare, este un exemplu de specie ordonabilă, relația de ordonare, fiind pentru această specie „mai departe decît". Speciile de culoare și formă (de ex.) nu sînt însă ordonabile în cîte un șir, ca specia depărtare.

Speciile de proprietăți ordonabile prezintă mare importanță în fizică fiindcă ele pot fi caracterizate cu ajutorul *speciilor de mărimi*. O specie de mărimi grefată pe o specie de proprietăți ordonabile este definită în principal de *scara* ei, care precizează condițiile obiective în care diferența de mărime dintre două proprietăți ordonabile este egală cu diferența de mărime dintre alte două proprietăți ordonabile ale aceleiași specii.

Dacă se aleg prin convenție cele două proprietăți distincte din specia ordonabilă care servesc ca *origine* și ca *unitate*, mărimile (scalare) speciei respective de proprietăți pot fi *măsurate*.

Operarea cu speciile de mărimi scalare prezintă următoarele avantaje față de operarea chiar cu speciile de proprietăți ordonabile pe care sînt grefate :

I. — Mărimilor li se pot aplica operații matematice — astfel relațiile dintre evenimente se pot exprima cu ajutorul relațiilor matematice (ecuații, inecuații).

II. Pe aceeași specie de proprietăți ordonabile se pot grefa foarte multe specii de mărimi distincte ; în special o primă specie de mărimi și aproximativ orice specie care are ca elemente orice funcție strict crescătoare de aceasta, ceea ce permite să se descrie cu ajutorul speciilor de mărimi mai multe detalii și relații între evenimente decît dacă s-ar opera numai cu speciile de proprietăți ordonabile.

De exemplu pe specia de proprietăți ordonabile numită depărtare se pot grefa atît specia de mărimi, (spațiu r/s/) cît și specia avînd ca elemente orice funcție strict crescătoare de distanță f (*r*).

III. — Mărimile admit o măsurare precisă, ceea ce mărește precizia descrierii.

Fizica (și chimia) au ajuns în stadiul descrierii cu ajutorul mărimilor — deci cu ajutorul matematicii — a tuturor evenimentelor, pe măsură ce le studiază.

Evenimentele prezintă interes deosebit în fizică fiindcă servesc ca referință pentru definire atît a *fenomenelor* — drept mulțimi de evenimente ordonate în timp — cît și a *situațiilor* — drept mulțimi de evenimente simultane (clasic).

Cum speciile de proprietăți cu ajutorul cărora se descriu evenimentele sînt inseparabile de obiectele între care există relațiile lor de echivalență și cum fizica studiază obiecte materiale, rezultă, în primul rînd că evenimentul — fenomenul — mișcarea — nu se pot separa de materie ; în al doilea rînd, rezultă că legile fizicii pot fi enunțate (și) numai cu ajutorul evenimentelor, respectiv cu ajutorul speciilor de proprietăți neordonabile, și ordonabile și al speciilor de mărimi folosite în descrierea evenimentelor.

2. — **Legea** constitue una din formele calitativ distincte ale conexiunii universale. Este un raport esențial, necesar, general, relativ stabil și repetabil între laturile interne ale aceluiași obiect sau fenomen, între obiecte sau fenomene diferite, între stadii succesive ale unui anumit proces, determinînd, în condiții date, tendința obligatorie, direcția principală a dezvoltării.

Lenin arăta că legile formulate de știință „cuprind convențional, aproximativ, tocmai legitatea universală a naturii în veșnică mișcare și dezvoltare".

Legea este o categorie de ordinul *esenței*. Ea exprimă un raport esențial între fenomene, adică acele legături care izvorăsc din natura internă, profundă a obiectelor și fenomenelor. — „Legea este un raport. . . Raportul esențelor sau raportul dintre esențe" (Lenin). Legea este mai săracă decît fenomenul, deoarece din aspectele multiple ale fenomenelor individuale ea relevă numai ceea ce este esențial, relativ stabil în ele, neînglobînd trăsăturile neesențiale. Legea exprimă ceea ce *este general*, comun fenomenelor de același gen, care au aceeași esență. „Forma generalității în natură este legea" (Engels). Legea este o legătură *necesară*, acea

legătură dintre obiecte şi fenomene care, în condiţii date, se stabileşte în mod inevitabil, deoarece legătura decurge din esenţa acestora şi este generală în cadrul clasei respective. Legea este o legătură *stabilă şi repetabilă*. Acţiunea legilor are întotdeauna un *caracter detreminat*, manifestîndu-se numai în cadrul anumitor condiţii.

Plecînd de la caracterul determinat al legilor, se face deosebire între două clase de legi ale realităţii obiective :

— legi dinamice.

— legi statistice.

Legile dinamice sau de tip dinamic sînt acele legi care acţionează în cazul fenomenelor individuale luate ca atare, exemplu legea căderii corpurilor, legea lui Arhimede, legea proporţiilor multiple a lui Dalton, etc.

Legile statistice acţionează în cadrul fenomenelor de masă. Ele nu determină mişcarea fiecărui fenomen în parte, ci apar ca rezultantă medie a numeroaselor acţiuni individuale ale ansamblului de fenomene.

„O lege statistică se realizează ca o tendinţă predominantă, ca o necesitate care îşi croieşte drum printr-un număr foarte mare de contingenţe şi care se manifestă în aceste contingenţe ca media unui număr mare de abateri întîmplătoare". Legile care acţionează la nivelul microcosmosului sînt legi statistice. De exemplu : mişcarea electronilor nu poate fi determinată pentru fiecare particulă luată separat. Mişcarea ansamblului de electroni, ca şi a altor microparticule este dirijată de legile mecanicii cuantice, legi ce au caracter statistic.

Toate procesele lumii materiale, atît sub raport individual cît şi din punct de vedere al ansamblului lor au la bază corelaţia dintre legile dinamice şi legile statistice, intrepătrunderea acestora, faptul că cele două tipuri de legi determină împreună manifestarea fenomenelor, mişcarea lor, tendinţele dezvoltării lor. Atît legile dinamice cît şi legile statistice au un caracter obiectiv.

3. — Legi de desfăşurare şi legi de stare.

După cum am spus, pentru categoria de lege este esenţială conexiunea sau legătura dintre evenimente. Legile sînt expresia conexiunilor obiective, esenţiale, necesare între evenimente. Ele se exprimă prin relaţii între *proprietăţile variabile curente* din speciile care servesc la descrierea evenimentelor, iar în fizică şi chimie prin relaţii între *mărimile variabile curente* din speciile cu ajutorul cărora se descriu evenimentele.

Prezintă interes împărţirea legilor în două clase : legi de desfăşurare şi legi de stare.

I. — O lege care exprimă conexiuni între evenimente care nu sînt simultane se numeşte *lege de desfăşurare*.

II. — O lege care exprimă conexiuni între evenimente de stare sau specii de proprietăţi, respectiv de mărimi de stare, simultane, dintr-un sistem fizico-chimic se numeşte *lege de stare*.

a. — Legile de desfăşurare sînt expresii particulare, directe, ale *principiului cauzalităţii* ; relaţia dintre evenimente, pe care o conţin, se numeşte *relaţie cauzală* ; evenimentele între care există o relaţie cauzală fiind în interacţiune. Legea de mişcare a punctului material (în mecanica clasică) legile de conservare a sarcinii electrice, legea inducţiei electromagnetice, legea circuitului magnetic, sînt exemple de legi de desfăşurare.

b. — legile de stare nu conţin derivate în raport cu timpul ale mărimilor de stare, care să fie ele însele mărimi de stare.

Exemplu de lege de stare : $pV = RT$

Determinaţia dintre evenimente, specii de proprietăţi de stare, respectiv de mărimi de stare conţinute într-o lege de stare se numeşte *determinaţie de stare*, spre deosebire de *determinaţia cauzală*, conţinută în legile de desfăşurare. De exemplu legile geometriei sînt legi de stare.

Legile de stare ale geometriei şi ale cinematicii ocupă un loc special în fizică şi se numesc *legi de structură*, spre deosebire de celelalte eventuale legi de stare, care se numesc *legi morfologice*.

4. — Legi dinamice şi legi statistice.

Pînă în sec. XIX speciile de proprietăţi în fizică au fost detectate pe baza cercetării macroscopice, adică pe baza observării directe, iar legile formulate pe această bază, ca legea de conservare a energiei, sau principiul al doilea al termodinamicii, au fost considerate exacte sau susceptibile de a fi exacte. Cînd s-a ajuns la studiul experimental al microobiectelor fizice — molecule, atomi, electroni, mezoni, protoni, neutroni, hiperoni etc. — s-a pus problema dacă există şi în microdomeniile respective toate proprietăţile şi mărimile detectate prin cercetare macroscopică. Fizicienii au ajuns la concluzia că există specii de proprietăţi şi de mărimi macroscopice care sînt inconsistente, nu au sens, în microdomenii. Temperatura absolută şi căldura sînt exemple de specii de mărimi fără sens în microdomenii.

Aceeaşi problemă s-a pus şi cu privire la consistenţa speciilor de proprietăţi şi mărimi în microintervale de timp caracteristice microobiectelor (atomi, electroni, protoni).

Speciile de proprietăţi şi mărimi consistente şi în microdomenii din spaţiu şi timp au fost numite *specii de proprietăţi dinamice*, respectiv de *mărimi dinamice*; cele consistente numai macroscopic au fost numite *specii de proprietăţi statistice*, respectiv de mărimi statistice, pentru că se reuşise ca aceste specii de proprietăţi şi mărimi să fie interpretate drept medii macroscopice, efectuate pe un mare număr de microobiecte, ale unor mărimi considerate dinamice.

Evenimentele au fost şi ele împărţite în două clase : evenimente dinamice şi evenimente statistice.

Fenomenele şi situaţiile şi deci şi stările au fost împărţite de asemeni în dinamice şi statistice.

Legile care exprimă relaţii între evenimente, proprietăţi sau mărimi dinamice au fost numite legi dinamice. Exemplu : legea de mişcare a punctului material, legea de conservare a energiei, etc).

Legile care exprimă relaţii între evenimente, proprietăţi sau mărimi, care sînt toate sau în parte statistice au fost numite legi statistice. Legile statistice pot fi detectate prin faptul că, pe măsură ce scade numărul de microobiecte la care se referă, experienţa prezintă fluctuaţii tot mai mari faţă de evoluţia medie descrisă de aceste legi. (Exemplu : legea de conducţie a căldurii, principiul a doilea al termodinamicii, legea dezintegrării radioactive).

Evoluţia acestor două tipuri de legi în unitate dialectică a pus şi problema raporturilor dintre ele, printre care şi aceea a reductibilităţii unuia dintre tipuri la celălalt.

Inițial, cum proprietățile și mărimile statistice folosite erau definite direct prin medii statistice, în funcție de proprietăți și mărimi dinamice, s-a căutat să se deducă „legile" statistice drept teoreme, consecințe, din legile dinamice cunoscute, singurele care ar reprezenta legile propriu zise ale fizicii.

Această încercare s-a manifestat în special în mecanica statistică, unde — prin intermediul interpretării căldurii și temperaturii drept mărimi mecanice de natură dinamică — s-a încercat să se deducă îndeosebi principiul al doilea al termodinamicii, lege de natură statistică.

În această încercare fizicienii s-au bazat pe o importantă teoremă demonstrată de matematicianul Liouville prin care se exprima valoarea pe care o avea într-un anumit moment densitatea, în raport cu volumul fizic, a probabilității de stare a sistemului, în funcție de valoarea pe care această mărime o avea într-un moment inițial; teoremă demonstrată numai cu ajutorul legilor dinamice ale mecanicii. Încercarea nu a fost încununată de succes cu toată intervenția lui Boltzman care afirma că s-ar putea deduce legile statistice din cele dinamice, dacă sistemele mecanice respective ar avea o proprietate numită *ergodicitate*. S-a demonstrat însă că ergodicitatea este incompatibilă cu legile dinamice ale mecanicii.

În această situație, fizicienii s-au împărțit în două școli opuse: una susținea că ar exista în fond numai legi dinamice, alta că ar exista atît legi de tip dinamic cît și legi de tip statistic.

La sfîrșitul sec. XIX s-a descoperit însă radioactivitatea naturală. Elementul nou adus de acest fenomen natural consta în faptul că nu s-a reușit să se detecteze eventualele mărimi dinamice ale căror medii să descrie dezintegrarea radioactivă și deci a trebuit ca legea statistică de desfășurare a acestui fenomen să fie formulată în funcție de mărimi care trebuiau considerate ca fiind în mod primar statistice, fiindcă nu au putut fi reduse la mărimi dinamice. Descoperirea radioactivității naturale a întărit poziția școlii ce susținea ireductibilitatea legilor statistice la legi dinamice.

Mecanica cuantică împreună cu principiul interdicției sau al excluziunii — care inițial nu făcea parte din această mecanică — și teoria cuantică a cîmpului au avut implicații surprinzătoare asupra raporturilor atît dintre legile de desfășurare și cele de stare, cît și dintre legile dinamice și legile statistice.

Mecanica cuantică diferă de mecanica clasică (prerelativistă sau relativistă) în special pentru interacțiunile dintre microobiecte fizice — molecule, atomi — și microobiecte elementare. Ea se caracterizează, în una din reprezentările ei posibile, printr-o lege statistică de stare, de tip morfologic, care a rămas ireductibilă la legile de desfășurare și se numește *principiul funcțiunii de undă*, cum și printr-o lege statistică de desfășurare, care are rolul legii de mișcare din mecanica clasică, numită *legea sau ecuația lui Schrödinger*, și este completată de o lege de stare oarecum exterioară față de bazele ei inițiale și de tip morfologic, rămasă de asemenea ireductibilă la legi de desfășurare, așa numitul principiu de *excluziune a lui Pauli*. Cele două legi de stare ale mecanicii cuantice ireductibile la legi de desfășurare exprimă, între speciile de mărimi de stare ale unei stări, restricții suplimentare față de cele pe care le-ar impune legile de desfășurare.

Practica spectroscopică, efectul fotoelectric, studiul radiației termice a solidelor, efectul Compton, au arătat că radiația electromagnetică

prezintă proprietăți atît corpusculare cît și ondulatorii. Această structură morfologică a radiației electromagnetice „schimbătoare" (credem noi) cu condițiile ei de interacțiune, inaccesibilă reprezentărilor noastre intuitive este anumită *dualitate undă-corpuscul* a radiației electromagnetice. Ulterior s-a descoperit că și microobiecte fizice ca electronul, protonul, neutronul și altele, prezintă dualitatea undă-corpuscul.

Experiențele au condus la concluzia că structura undă-corpuscul a tuturor microobiectelor (fotoni, electroni, protoni) inaccesibile intuiției noastre este o structură reprezentabilă numai prin mijloace statistice.

Heisenberg a grupat speciile de mărimi de stare mecanică în perechi de specii conjugate canonic — al căror produs are dimensiunea fizică a cuantei de acțiune — și a exprimat *statistic și global* structura morfologică a microobiectelor prin *relațiile de nedeterminare;*

$$\Delta q \cdot \Delta p \geqslant h/4\pi \text{ sau } \Delta E \cdot \Delta t \geqslant h/4\pi$$

Aceste relații, confirmate experimental, fac parte din clasa propozițiilor statistice de stare, valabile și pentru transformări de stare oricît de rapide, și au rămas ireductibile la proprozitii dinamice de desfășurare.

Dar trebuie adăugat că experiența este :

— și contra interpretării după care (în condiții fizice date) microobiectele *ar avea* și proprietăți bine determinate pe care nu le pot prezenta în acele condiții ;

— și pentru interpretarea după care în condiții fizice în care microobiectele *nu pot prezenta* anumite proprietăți bine determinate, ele nici *nu le au.*

„Efectul tunel" descoperit din studiul radioactivității spontane, și existența unei „energii" interioare totale pozitive chiar și la temperatura absolută de 0°K, pe care o au sistemele fizice capabile de oscilații interioare (moleculele, cristalele) sînt dovezi în acest sens.

Esența problemei constă în a căuta, dincolo de legea statistică, acele cauze interne care și-au găsit numai indirect o reflectare în legea statistică. În opoziție cu unele opinii după care tipul de legi statistice este superior celui dinamic, legile statistice trebuesc mai curînd considerate ca fiind de același nivel cu cele dinamice, ca unul din cele mai importante tipuri de legi. Afirmația că fizica modernă ar fi trecut total la legi de tip statistic nu corespunde realității. De exemplu, după confirmări experimentale precise, în domeniul microcosmosului, legea transformării și conservării energiei nu se realizează statistic, adică în medie pentru un număr mare de evenimente, ci pentru fiecare eveniment individual, fiind în acest sens, o lege de tip dinamic.

Pentru a stabili dacă legea statistică poate fi considerată ca avînd „drepturi egale" cu cea dinamică, ca tip deosebit al legilor obiective ale naturii și societății, și nu ca treaptă relativă în dezvoltarea cunoștințelor noastre, este necesar să vedem dacă legea statistică satisface condițiile fundamentale ale categoriei generale de lege.

Considerăm, întîi, o lege de tip dinamic. Fie doi fizicieni care studiază lungimea unei bare încălzite. Unul folosește legea dilatării termice, celălalt măsoară direct lungimea barei la diferite temperaturi. Cît timp au de a face cu o bară concretă, rezultatele lor sînt identice. Situația se schimbă însă esențial dacă se pune problema variației lungimii altei bare încălzite. Al doilea fizician va recunoaște că nu știe dinainte cum variază lungimea barei și că trebue să reia toate măsurătorile. Spre deosebire de acesta, primul fizician, referindu-se la legea dilatării termice, va trage

concluzia că orice altă bară se va dilata la fel ca şi prima, în aceleaşi condiţii. Deci, această lege, dezvăluind esenţialul din fenomene, general stabilul, repetabilul, ne dă o nouă cunoştinţă despre fenomenele fizice considerate.

Să considerăm acum o lege statistică. Deseori se spune că aplicarea legilor statistice la studiul stării unui gaz ale cărui molecule se mişcă fiecare după legile dinamice ale mecanicii clasice, ar fi determinată numai de dificultatea de a ţine evidenţa mişcărilor unui mare număr de molecule. Această părere este însă principial greşită. Să ne imaginăm că am dispune de o maşină de calcul electronică ultrarapidă capabilă să rezolve repede cele 10^{23} ecuaţii care descriu mişcarea fiecărei molecule individuale a gazului. Cît timp vom avea de a face cu un singur mol de gaz, rezultatul obţinut de maşină ne va furniza cu mare precizie aceleaşi informaţii despre distribuţia după viteze a moleculelor, ca şi legea statistică. Dar putem avea siguranţa, certitudinea, că pentru un alt mol de gaz, ale cărui molecule au prezentat iniţial anumite deosebiri de stare şi de viteză faţă de moleculele celui dintîi mol, se va stabili exact aceeaşi distribuţie a vitezelor ? Cele 10^{23} ecuaţii ale mecanicii clasice ne dau tot atît de puţine garanţii ca şi una singură. Dacă vom calcula iarăşi un mare număr de ecuaţii la maşină şi vom obţine din nou aceeaşi distribuţie după viteză a moleculelor, aceasta va arăta ca o surprinzătoare coincidenţă, cînd de fapt avem de a face cu o lege valabilă pentru orice moleculă-gram, în condiţii date. Deci legea statistică dezvăluie şi ea ceea ce este esenţial, general, stabil, repetabil în fenomene, dîndu-ne astfel noi cunoştinţe despre fenomenul considerat.

De multe ori, tinzînd să se interpreteze determinist caracterul statistic cuantic, se susţine că el ar fi legat de interacţiunile complexe ale multor particule. Dar caracterul statistic cuantic se manifestă şi în cazul unor atomi de hidrogen izolaţi. Aşadar, izvorul caracterului statistic cuantic este în primul rînd mediul atomo-molecular.

Uneori se spune că mişcarea electronului are un caracter foarte complicat, analog mişcării unei particule browniene, din cauza interacţiunii haotice a electronului cu cîmpul, în particular cu „vidul" electrono-pozitronic. Dar şi această părere suscită obiecţii, pentru că luarea în consideraţie a fluctuaţiilor vidului permite să explicăm numai efectele zise de ordinul al doilea — o deplasare suplimentară (efect Lamb) a nivelelor energetice — nu însă originea caracterului statistic cuantic în ansamblu.

Este bine cunoscut paradoxul legat de caracterul statistic cuantic şi de proprietăţile duale undă-corpuscul ale microparticulelor : caracterul imaginii de difracţie este determinat de întreaga reţea de difracţie, deşi electronul, ca particulă localizată ar trebui să treacă numai printr-o fantă determinată a reţelei. De altfel modificînd condiţiile de realizare a experimentului se poate arăta că electronul trece efectiv printr-o fantă determinată. Atunci cum exercită celelalte fante, prin care electronul nu trece, o infuenţă de acelaşi fel cu fanta prin care el a trecut ?

Din această contradicţie, şcoala de la Copenhaga condusă de Bohr trage concluzia că, în funcţie de instalaţiile experimentale, electronul cînd difuzează nedeterminat în spaţiu sub forma de undă, cînd se localizează într-o particulă.

Mulţi fizicieni, printre care şi A. Einstein, au arătat că această interpretare a mecanicii cuantice duce la concepţii filozofice cu totul îndoielnice, în particular la admiterea unor modificări acauzale, mistice, ale unor obiecte care nu interacţionează unul cu altul. Mai mult, se pare că

această intepretare nu concordă cu conținutul real al teoriei cuantice. Aparatul matematic al teoriei cuantice nu descrie, în fapt, nici un fel de difuzări ale electronului într-o undă.

Interpretarea actuală unanim acceptată pentru funcția de undă Ψ o consideră drept caracterizare a probabilității statistice a diverselor tranziții cuantice, nu drept un proces ondulator fizic, real.

Informațiile științifice de care dispunem la această dată atestă cu destulă claritate că microparticulele sînt obiecte cu o structură internă complexă, nu punctuale, ci localizate într-un domeniu mic al spațiului (10^{-11} cm. raza Compton a electronului, 10^{-13} cm. raza pionică a nucleonului). Mai mult, această structură este extrem de stabilă și în orice caz, acțiunile energetice la care apar de exemplu, proprietățile ondulatorii ale particolelor, sînt cu totul insuficiente pentru o modificare esențială oricît de mică a acestei structuri.

Așa numita *difuzare a electronului* în întreaga rețea cristalină este vădit nejustificată.

Înțelegerea corectă a proprietăților corpusculare-ondulatorii ale microparticulelor depinde, în mare măsură, de înțelegerea corectă a originii legilor statistice și a naturii lor. Aceasta rezultă direct din faptul că așa numitele proprietăți ondulatorii ale microparticulelor își găsesc expresia în funcția de undă Ψ, care definește probabilitatea statistică a microproceselor fizice. Originea unor particularități caracteristice ale mișcării microparticulelor poate fi explicată, pare-se, luînd ca bază caracterul discret al acțiunii, care îi este propriu. De exemplu, în cazul interacțiunii electronilor cu rețeaua de difracție, impulsul electronului variază cu o mărime care este un multiplu al constantei lui Planck, h. Drept urmare, fasciculul inițial de electroni este descompus de rețeaua de difracție în mai multe fascicule, corespunzător cu numărul de cuante cu care a variat impulsul.

Teoria cuantică studiază descompunerile posibile ale colectivelor de particule în grupuri discrete, care apar în cadrul interacțiunilor de masă, în virtutea existenței cuantei de acțiune.

Dar dece au loc în mod discret variațiile parametrilor particulelor? Care este mecanismul lăuntric, așa zicînd de detaliu, al interacțiunilor microparticulelor? Deocamdată nu există răspuns la aceste întrebări. Este nevoie de crearea unei teorii fizice calitativ specifice.

Să ne oprim acum asupra aspectului filozofic important al relației dintre cauză și lege pe care îl ridică legile statistice.

Raportul dintre cauză și lege poate fi studiat sub două aspecte:
— dacă există distincție din acest punct de vedere între legile dinamice și legile statistice;
— dacă există distincții calitative în cadrul legilor statistice între caracterul statistic al macrocosmosului și cel al microcosmosului.

În primul caz, se pare a fi posibilă afirmația că legile statistice sînt în măsură mai pronunțată *modale* decît legile dinamice, exprimînd fie legătura necesară dintre stările unui ansamblu, fie modul de distribuție al unui colectiv. Teoriile statistice studiază schimbările suferite în timp de starea unui colectiv, a unui ansamblu, calculează funcția de distribuție a colectivului statistic la un moment dat, pe baza datelor despre distribuția colectivului într-un moment anterior. Rol hotărîtor joacă funcția de distribuție, care arată ce parte dintr-un număr suficient de mare de obiecte se află într-o anumită stare.

De exemplu : legea statistică indică numărul mediu al moleculelor care au o anumită viteză în cazul mişcării termice, ori spaţiul în care se localizează un ansamblu de microparticule, fără a cerceta cauza acestor distribuţii sau comportamente. Deci legea statistică relevă cum este ansamblul de relaţii, de fenomene şi nu dece este el aşa şi nu altfel. Legea statistică este o lege care exprimă relaţii necesare între diversele stări ale ansamblului sau distribuţiile necesare ale colectivului. Problema cauzei schimbărilor necesare survenite în starea colectivelor este situată deocamdată pe un plan secund, pentru că a soluţiona această problemă înseamnă a pătrunde la un nivel mai profund decît cel studiat de teoriile statistice respective, uneori la nivelul cauzelor concrete ale stărilor iniţiale individuale.

În teoriile statistice contemporane se face abstracţie de cauzele pentru care colectivul se află într-o anumită stare şi se pleacă de la faptul experimental al stabilităţii frecvenţei. Cunoaşterea cauzelor concrete ale stărilor iniţiale individuale fiind considerată, a fortiori, neesenţială, explicaţia teoretică a stabilităţii frecvenţei fenomenelor este o problemă de viitor.

Filozofii indeterminişti au ajuns la concluzia falsă, că teoriile statistice resping cauzalitatea şi se întemeiază pe un indeterminism principal, că legea statistică este expresia unor interacţiuni absolut întîmplătoare, acauzale. În opoziţie cu această intepretare fizicienii şi filozofii marxişti au ajuns la concluzia că legea statistică exprimă şi ea, ca orice lege, o relaţie necesară, stabilă şi generală, care se surprinde la nivelul marilor ansambluri şi se întemeiază pe relaţii cauzale mai profunde.

Legile statistice sînt legi ale unor ansambluri mari de fenomene şi reflectă necesitatea comportamentului acestor ansambluri. În ceea ce priveşte precizia, cunoştinţele obţinute cu privire la un ansamblu de evenimente, prin legile statistice, ele nu se deosebesc esenţial de cele pe care le oferă legile dinamice pentru fenomenele individuale. Legile statistice permit dezvăluirea comportamentului indivizilor care alcătuiesc ansamblul statistic respectiv, dar previziunile referitoare la comportamentul individual sînt mai puţin precise, pentru că individul este cunoscut prin intermediul ansamblului şi este considerat ca o unitate medie.

Se ţine seama numai de aspectele comune cu ansamblul ; individul este considerat numai ca „element al ansamblului", numai sub aspectul posibilităţilor comportamentului său.

După cum am mai spus, legea statistică arată cum se comportă cu necesitate colectivul şi care sînt posibilităţile de comportare ale unui anumit individ din colectiv.

Dacă un fenomen există doar ca posibilitate, înseamnă că pentru apariţia lui nu sînt suficiente condiţiile existente şi că în primul rînd lipseşte cauza lui, adică acel factor necesar care completează pînă la suficienţă mulţimea de condiţii necesare pentru producerea lui. Cînd aceste cauze apar, fenomenul se realizează.

Categoria de probabilitate reprezintă măsura trecerii fenomenului de la posibil la real, expresia cantitativă a apropierii lui de necesitate şi ne permite să caracterizăm cantitativ influenţa pe care o exercită un grup de condiţii asupra apariţiei unui anumit eveniment. De aici rezultă că probabilitatea nu exclude cauzalitatea, ci o confirmă, indicînd că fără unele cauze suplimentare fenomenul nu are loc.

Pentru a ilustra afirmațiile de mai sus să analizăm succint relația dintre cauzalitate și legile statistice, în microcosmos. Este acceptată astăzi ideea că $|\Psi|^2$ — pătratul modulului funcției de undă — exprimă din punct de vedere fizic distribuția microobiectelor, fără să spună nimic în mod explicit cu privire la cauzele acestei distribuții. Această lege este, deci, modală. În această etapă, cauzele acestei statistici sînt întrevăzute de majoritatea celor ce participă la discuții asupra dublei naturi a microobiectelor. Deci și această lege are, la rîndul ei, un temei cauzal.

Fără cauze obiective, fără legături legice în cadrul microproceselor, microobiectul nu ar poseda posibilități obiective, determinate, și mișcarea sa nu ar putea fi caracterizeată cu ajutorul funcției de undă.

În ceea ce privește deosebirea dintre legile statistice din macrocosm și cele din microcosm ea există calitativ, și constă în faptul că la realizarea statisticității în microcosm un rol preponderent îl joacă structura internă a „obiectelor", în timp ce la nivelul macrocosmic rolul hotărîtor ar reveni interacțiunii dintre obiectele ce alcătuiesc ansamblul.

Se poate afirma că, legile probabiliste cunoscute astăzi exprimă modalități necesare de existență a unor ansambluri de distribuție, a unor colective statistice, și nu relații cauzale. Împotriva identerminismului, care respinge cauzalitatea pentru faptul că legile statistice cunoscute pînă azi nu au un conținut cauzal nu trebuie folosit argumentul simplificator că orice lege fixează un raport cauzal, ci trebuie relevat caracterul necesar, general și esențial al raporturilor fixate de legile statistice și faptul că orice lege are un temei, un fundament cauzal.

Problema descoperiri temeiului cauzal al legilor nu este de loc ușoară, pentru că rezolvarea ei înseamnă descoperirea locului pe care îl ocupă legea respectivă într-un grup mai larg de fenomene, în cadrul cărora ea apare ca efect al altor procese. De exemplu legea periodicității elementelor chimice a putut fi explicată cauzal după descoperirea structurii atomului. Similar, multe legi ale mecanicii clasice au fost explicate numai după elaborarea teoriei relativității și a mecanicii cuantice, ale căror ecuații conțin ecuațiile mecanicii clasice sub formă de cazuri particulare.

Trebue menționat, însă, că multe legi ale fizicii nu și-au găsit încă explicația cauzală. Dificultatea provine din faptul că aproape fiecare lege este rezultatul interacțiunii unui număr foarte mare de cauze care se referă la diferite grupuri de fenomene. De exemplu, în momentul de față, legea conservării masei, energiei, sarcinei și altele nu sînt încă explicate cauzal. Relațiile matematice corespunzătoare reprezintă o constatare a faptelor experimentale, care arată că energia, masa, sarcina, momentul cantității de mișcare, etc. se conservă în toate procesele.

Odată cu cercetarea naturii legilor statistice a fost pusă cu o deosebită evidență problema corelației dintre necesar și întîmplător în cadrul legilor naturii. Care este relația dintre legile dinamice și factorii întîmplători, care este relația dintre legile statistice și factorii necesari? Din punct de vedere marxist orice lege este o expresie a necesarului. Dar cele două tipuri de legi exprimă necesarul în mod diferit. Astfel, legea dinamică fixează realizarea necesarului în fiecare caz individual, iar legea statistică reține necesarul, elementul constant, repetabil, în ensențialitatea sa, din ansamblul statistic dat. Din acest motiv, necesarul din legile statistice are un caracter mult mai general, referindu-se la comportamentul ansamblului statistic și nu la realizarea conduitei individuale, care este întîmplătoare, în raport cu procesul în ansamblu.

Filozofii şi fizicienii marxişti susţin că legea dinamică exprimă un raport necesar la nivelul fenomenelor individuale, ceea ce are ca urmare caracterul său univoc — dintr-un ansamblu de stări date urmează cu necesitate o altă stare dată. Univocitatea legii se explică prin simplitatea relaţiilor necesare şi prin constanţa împrejurărilor în care au loc aceste relaţii necesare. Dar limitarea definiţiei legii dinamice la atît ar pune sub semnul întrebării existenţa ei obiectivă.

În realitate nu există o constanţă absolută a împrejurărilor. Absenţa unei astfel de constanţe a dus la negarea realităţii legilor dinamice şi la considerarea lor fie ca aproximări a realităţii, fie ca medii a legilor statisticii. În natură nu există condiţii absolut identice întrucît ansamblul de împrejurări în care se desfăşoară fenomenul analizat este variabil. O definiţie dialectică a legilor dinamice nu are voie să ignoreze acest aspect. De aceea se consideră a fi mai multilaterală şi prin aceasta mai concretă definiţia care reflectă acea formă a legăturii necesare, esenţiale şi generale, în care legăturile întîmplătoare au rolul unor mici, neînsemnate abateri, devieri. Referirea la acţiunea factorilor întîmplători pune problema corelaţiei dintre posibil şi real şi prezintă două aspecte importante :

— orice fenomen înainte de a deveni realitate trebue să existe ca posibilitate ;

— existenţa unei corespondenţe relative, parţiale dintre posibil şi real.

Acest al doilea aspect este general valabil pentru fiecare fenomen şi proces din lumea materială, deoarece nu există în univers necesitate pură. Existenţa necesităţii pure ar anula distincţia dintre posibil şi real, pentru că un fenomen necesar este tocmai fenomenul la care trecerea de la posibil la real este obligatorie. Dar fenomene absolut necesare nu există. Problema trecerii de la posibil la real se ridică şi la legea dinamică în măsura în care acţiunea factorului întîmplător, prin micile abateri pe care le provoacă, determină o discrepanţă între posibil şi realizare. Deci, nici în legea dinamică nu se poate trece cu vederea acţiunea factorilor întîmplători, doar că aici oscilaţiile produse au loc întotdeauna în jurul lui *unu*, în jurul probabilităţii 100%.

Legea statistică determină posibilităţile obiective de desfăşurare a procesului şi exprimă latura cantitativă a acestor posibilităţi obiective, probabilitatea, sub forma unei constanţe relative a frecvenţei proceselor date. Acest specific calitativ al legilor statistice provine din interferenţa complexă a cauzelor şi condiţiilor în care factorul întîmplător pune o amprentă mai pronunţată asupra desfăşurării fenomenelor. Din acest motiv, în cazul legilor statistice, problema raportului dintre posibil şi real se pune mult mai ascuţit. Nu orice posibilitate obiectivă se realizează în fiecare fenomen individual, ci numai una sau unele dintre ele.

În legea statistică, necesitatea se manifestă pentru fenomenele individuale doar în domeniul posibilului. În domeniul realului ea se manifestă pentru un ansamblu de fenomene — înţelegînd prin ansamblul de fenomene atît desfăşurarea simultană a unui număr mare de fenomene, cît şi repetarea unuia şi aceluiaşi fenomen de numerose ori în condiţii aproximativ identice. Deci legea statistică se referă şi la fenomene de ansamblu şi la fenomene individuale ; la fenomene de ansamblu în ceea ce priveşte realizarea lor, la fenomene individuale în privinţa posibilităţilor acestei realizări.

Care este corelația dintre cauzalitate și posibilitate în cadrul legilor statistice? Dacă un fenomen există numai ca posibilitate, înseamnă că nu sînt încă suficiente condiții pentru transformarea lui în realitate, în primul rînd nu sînt prezente cauzele care să-l producă. Trecerea de la posibil la real înseamnă tocmai acțiunea acestor cauze. Rezultă că în fenomenele statistice, relațiile cauzale sînt implicate în relații mai largi, condiționale.

Concluzii. Ca orice legi, atît legile dinamice cît și cele statistice sînt legături cu caracter general, necesar și esențial. Ele suferă acțiunea factorilor întîmplători. Dar în cazul legilor dinamice acțiunea factorilor întîmplători nu poate anula determinarea univocă a fenomenului cercetat, în timp ce în legea statistică acțiunea factorilor întîmplători are o greutate mult mai mare pentru fenomenele individuale.

Așa dar, nu se poate ridica un zid între cele două tipuri de lege. Dat fiind că nu există nici necesitate pură, nici întîmplare pură dat fiind că distincția dintre necesitate și întîmplare nu este absolută, realitatea dezvălue în toate domeniile atît aspecte dinamice cît și aspecte statistice.

Factorii întîmplători determină perturbări mai mari sau mai mici în desfășurarea legică a proceselor, iar diferite grade de necesitate determină natura legii.

Legile dinamice se referă la fenomene relativ simple în care necesarul își tae drum direct, în timp ce legile statistice vizează fenomene foarte complexe. Neunivocitatea fenomenelor individuale ce alcătuiesc colectivul statistic trebuie explicată prin complexitatea relațiilor dintre cauză și efect și nu prin neunivocitatea și caracterul întîmplător al acestei relații.

BIBLIOGRAFIE

Materialismul și științele contemporane ale naturii — vol. IV 1964
Dialectica marxistă și științele moderne — vol. III 1962
Determinismul și fizica modernă — Călina Mare 1966

PENTRU ACTUALIZAREA ÎNVĂȚĂMÎNTULUI FIZICII

SĂ MEDITĂM ASUPRA . . .

Cercetător principal la I. S. P. *N. STĂNESCU*, București

Cu ocazia diferitelor conferințe și congrese internaționale, care au ca obiect problemele contemporane ale învățămîntului, se constată că, la fel ca și la noi, „programele școlare aproape în toate țările, rămîn îngrozitor de mult în urmă față de progresul științei" [1]) Fenomenul a fost pus în evidență de Felix Klein încă de acum aproape 70 de ani [2]). Fizicianul Cockroft, laureat al premiului Nobel, a arătat nu de mult, la congresul anual al profesorilor de fizică din Anglia, că fizica se predă astăzi, în cele mai multe școli, tot ca acum 40 de ani [3]). Acest decalaj tinde să crească în zilele noastre, datorită dezvoltării extraordinare a informației științifice față de capacitatea limitată de asimilare a ei de către elev. Problema a

[1]) *J. Bruner*: Procesul educației intelectuale, Ed. șt. 1970, pag. 46, Documentele Congresului de la Dakar (C.I.E.S) 1964.
[2]) *A. I. Markușevici*: Pedagogische Forschung. 1968.
[3]) *R. Kunfalvi*: A fizikatonitás körsze rüsitesének problemái vilagszente, în Fizikai zemle 4—1969.

fost analizată și de Colocviul național de pedagogie, ținut la București între 12—14 decembrie 1970, cînd s-a subliniat necesitatea unei selecții a informației, care trebuie inclusă în programele școlare, pentru a face posibilă pregătirea adecvată — astăzi — a tineretului care va acționa în viața social-economică a țării abia peste 10—15 ani. Pentru a sublinia dificultatea acestei selecții din imensul volum informațional, vom semnala problema pusă de C. F. Weizsäcker: ce număr minim n de fizicieni ar fi necesar, la o anumită etapă istorică, pentru a putea stăpîni întregul conținut al fizicii cunoscute la acea etapă, cu condiția ca fiecare dintre ei să nu cunoască nimic din domeniile cunoscute de ceilalți. El ajunge la concluzia că acum un secol $n = 1$, acum 50 de ani $n = 5$, iar astăzi ar fi necesari aproape $n = 100$ fizicieni ca să poată cuprinde întregul conținut al fizicii!.

Multitudinea acțiunilor privind predarea fizicii — întreprinse atît la nivel internațional, cît și în diferite țări în parte — pune în evidență acuitatea problemei respective. Și cu toate că nu s-a ajuns pînă în prezent la soluții definitive și unanim acceptate pe plan mondial, se acreditează tot mai mult ideea că *la soluționarea problemelor privind predarea fizicii trebuie să participe reprezentanții cei mai de seamă ai științei și învățămîntului științei respective.* „Reprezentanții cei mai de seamă ai unei discipline trebuie să fie atrași în această muncă" spune J. Bruner în lucrarea citată mai înainte. Numai din perspectiva unei desăvîrșite competențe și a unei largi viziuni asupra domeniului respectiv se poate aprecia modul în care trebuie predată fizica pentru a face față cerințelor actuale și de perspectivă față de pregătirea tinerei generații. Scopul acestui articol nu este acela de a soluționa problema, complexă și spinoasă, a fizicii ca obiect de învățămînt în școala de cultură generală, ci este acela de *a sesiza necesitatea și urgența problemei și de a lansa chemarea către oamenii de știință, cadrele didactice și către toți cei ce se preocupă de asemenea probleme, să-și dea contribuția prin publicarea părerilor ce le au referitor la actualizarea predării fizicii și punerea ei în cel mai potrivit rol în* pregătirea tineretului pentru viață. Fără a o face exhaustiv vom înfățișa cîteva aspecte legate de dezvoltarea acestei științe, cu implicațiile lor în fizică—disciplină școlară.

1. Problema cea mai acută, și mai dificilă totodată, este aceea a selecționării conținutului care să asigure informația minimală, pe baza căreia să se satisfacă cerința că „Scopul învățămîntului fizicii în școala de cultură generală este însușirea gîndirii științifice" cum a arătat acad. Șerban Țițeica la Colocviul național de Pedagogie din 12—14 XII 1970. Se confirmă astfel punctul de vedere, care a stat la baza structurării proiectelor de programe de fizică de către Institutul de științe pedagogice, că formativul are prioritate asupra informativului.

O indicație asupra bazei conceptuale a fizicii ca disciplină o poate furniza analiza cîtorva definiții actuale ale fizicii. Fizicianul George Moisil consideră că obiectul fizicii constă în „reflectarea cît mai corectă și mai detailată în conștiința noastră a structurii lumii fizice și a legilor acesteia" [6])

[4]) *A. Kumfalvi*, op. cit.
[5]) *J. Buner*, op. cit.
[6]) *G. C. Moisil*: Fizica pentru ingineri, Ed. Tehn., 1967, vol. I pag. 13.

Alt fizician O. Mader, consideră că noțiunea de fizică se referă la „domeniul științei care se ocupă cu structura materiei, în diferitele ei forme și cu legitățile generale, universal valabile ale mișcării materiei" [7]) R. Brennecke definește fizica drept „studiul stărilor și a variațiilor de stare din natura nevie și al legilor care le stăpînesc" [8]). „Fizica studiază stările și transformările unor forme generale de mișcare ale materiei, cum și proprietățile care determină aceste stări și transformări" constată fizicianul N. Bărbulescu[9]). Chiar și numai din aceste cîteva definiții reiese că notele definitorii ale fizicii sînt structura materiei și legile ei pentru primii doi fizicieni, stările și procesele naturii nevii, precum și legile acestora, pentru ceilalți doi fizicieni. Dar stările și procesele caracterizează sistemele fizice, deci, în ultimă instanță sînt tot elemente structurale de natură metodologică ale materiei.

Fizica contemporană nu se poate dispensa de noțiunea de sistem, iar definirea lui pune în evidență intereacțiunea : „sistemul este o mulțime de elemente aflate în interacțiune" [10]), fiecare sistem material este o modalitate specifică de interacțiune" [11]), iar tipul interacțiunii caracterizează tipul sistemului (interacțiunea mecanică pentru sistemul mecanic, interacțiune cuantică pentru sistemul cuantic. etc.)

Interacțiunea, intra și intersisteme, determină variațiile de stare ale acestora, adică procesele fizice, iar „modul de existență al sistemului la un moment dat, definit prin proprietățile lui fizice constituie starea sistemului" [12]).

Discuția la care vă invităm în paginile revistei, va arăta dacă noțiunile de sistem fizic, structură, stare, interacțiune, mecanism al procesului, legitate, constituie concepte de bază cu care operează fizica contemporană și dacă ele trebuie să intre în sistemul de cunoștințe de fizică ale unui absolvent de liceu. Ce alte noțiuni cu care operează fizica pot fi considerate că au implicații în formarea gîndirii științifice a elevilor?

Referindu-ne la materie, va trebui să abordăm studiul formelor ei structurale — substanța și cîmpul — precum și modul de includere a lor în programe.

Substanța, direct accesibilă simțurilor, s-a impus cercetării de la început prin structura ei corpusculară care a dus la conceptul de particulă. Odată cu evoluția fizicii acest concept și-a schimbat conținutul de la punctul material clasic pînă la particula elementară a fizicii cuantice

Cîmpul, fundamentat de Faraday și apoi de Maxwell și alții, s-a impus prin caracterul său de continuitate și ca transmițător al interacțiunilor cu viteză finită. Din perspectiva teoriei relativității și a teoriei cuantelor s-a reliefat discontinuitatea în procesele de cîmp, încît particula — cîmp a devenit concept fundamental al fizicii actuale. Cu puternic caracter integrator este noțiunea de oscilator (particulă oscilantă) care a evoluat de la caracterul concret mecanic la cel cuantic. Interacțiunea oscilatorului cu mediul a generat noțiunea de undă mecanică, la început, apoi cea de undă electromagnetică, ajungînd pînă la unda de probabilitate a funcției Ψ. Se observă că noțiunile cu care operează fizica „se dezvoltă în direcția unei abstractizări din ce în ce mai avansate ; în același

---

[7]) *O. Mader* : Zu einigen Fragen der Weiterentwicklung des Physikunterrichs în Physik in der Schule, Heft 9/1965 pag. 372

[8]) *R. Brennecke* : Physik, Felder, Wellen, Atome, Quanten. Braunschweig 1967

[9]) *N. Bărbulescu* : Fizica vol. I, Ed. Did. Ped. 1964, pag. 3

[10]) *L. Bertahanffy* : Problems of life.

timp ele devin mai cuprinzătoare, forța lor crește [11–13]), iar cunoașterea lor apare ca absolut necesară înțelegerii fizicii contemporane. Ne întrebăm atunci care dintre conceptele fizicii contemporane ar trebui predate în școală? După ce criterii ar trebui selecționate? În ce măsură omiterea unora din ele ar prejudicia formarea unei gîndiri științifice contemporane a elevilor și cultura lor generală? Numai reflectînd cu toții asupra acestor probleme se va putea ajunge la unele soluții utile.

2. În legătură directă cu cele de mai sus se naște problema raportului dintre fizica clasică și cea modernă. Cum trebuie să se reflecte în programele de fizică schimbarea modului de a concepe anumite aspecte ale realității? Cum să fie prezentate punctele de vedere, uneori opuse, aparținînd fizicii clasice și celei moderne? Cum și în ce măsură trebuie să-și găsească locul în programele de fizică pentru învățămîntul de cultură generală noile domenii ale fizicii (fizica corpului solid, fizica plasmei, a energiilor înalte etc.) precum și domeniile de graniță (biofizică, astrofizică etc.)? Trebuie oare axată programa de liceu pe fizica clasică sau trebuie axată integral pe fizica modernă? N-ar fi mai nimerită considerarea unei singure științe a fizicii, care reflectă natura, dar la două nivele ale cunoașterii din care primul este numai un caz particular al celui de al doilea?

În orice caz nu trebuie pierdut din vedere că o programă de fizică pentru liceu și mai ales un manual nu este o fotografie micșorată a unei programe, respectiv unui curs universitar. Ele nu se deosebesc numai prin nivelul cantitativ, ci mai ales prin structura conținutului potrivit scopului — în *liceu* se urmărește formarea unei culturi generale, în universitate, specializarea — și prin capacitatea de înțelegere a elevilor. Datorită faptului că fizica în liceu se clădește numai pe cunoștințele empirice ale elevilor, nu pe un curs de fizică învățat anterior, cum e cazul în învățămîntul superior, structurarea conținutului se subordonează nu numai logicii interne a disciplinei, ci și unei logici cerută de tehnologia predării. Iată cîte întrebări își așteaptă răspunsul cel mai potrivit de la colaborarea noastră a tuturor.

3. Din punct de vedere metodologic se ridică de asemenea probleme similare cu cele referitoare la conținutul informațional implicat în programele de fizică pentru liceu. Care sînt metodele specifice fizicii contemporane și în ce măsură este necesară introducerea lor în procesul de învățămînt? Este drept că fizica e o știință experimentală, dar ea se dezvoltă nu numai pe baza raționamentelor inductive, ci și a celor deductive, a celor analogice, prin folosirea modelării [14–15]) precum și prin metoda statistică, care „ține seama în mod explicit de structura atomică" [16]) De asemenea fizica actuală folosește și metoda principiilor — expunere logică, axiomatică a unor capitole, în special din mecanica cuantică [17]). Care din aceste metode și în ce măsură trebuiesc utilizate în tehnologia predării fizicii? „Necesitatea cercetărilor de fizică didactică, de care nu se prea vorbește la noi

---

[11]) *B. M. Kedrov:* Despre relația dintre formele de mișcare ale materiei în natură, în Prob. filoz. 1959 Buc.

[12]) *N. Bărbulescu*: Fizica moleculară, în Fizica, vol. I, Ed. Did. și Ped. 1964, pag. 175.

[13]) *E. Hutten:* Ideile fundamentale ale fizicii, Ed. enciclopedică, 1970, p. 24

[14]) *I. Gyarmati ș.a.*: Rolul axiomelor și modelelor în cunoașterea fizică, în Mat. dial. și științele naturii vol. IX, Ed. pol. 1964

[15]) *G. Moisil*, op. cit. pag. 13—14.

[16]) *S. Țițeica*: Elemente de mecanică statistică, Ed. Teh. 1956, pag. 4

[17]) *G. Enescu și C. Popa*: Logica și cunoașterea științifică în Logica științei, vol. XIII Mat. dial. și st. naturii, pag. 15

în țară" [18]) este evidentă în stabilirea metodelor de structurare și predare a fizicii. Unele cercetări de „fizică didactică" au arătat rolul operațional și integrator al modelului în predarea fizicii [19]). De asemenea s-a arătat că uneori folosirea deducției în structurarea conținutului face mai eficientă și scurtează durata predării, combătînd supraîncărcarea, în același timp contribuind la o mai completă înțelegere a conținutului [20]). „Modelul matematic este cea mai bună formulă prin care putem gîndi global asupra unor fenomene complexe" [21]) arată matematicianul M. Maliția la colocviul național de pedagogie. Se poate oare contribui la formarea gîndirii probabilistice a elevului, componentă a gîndirii științifice contemporane, fără ca metoda statistică să aibă un anumit loc în programele de fizică? În orice caz nu trebuie pierdut din vedere că experimentarea și matematizarea constituie două metode fundamentale în fizică [22]). Ce răspunsuri pot căpăta aceste probleme?

4. Corelația interdisciplinară fizică — matematică este determinantă pentru stabilirea caracterului de știință a fizicii. „Matematica este liantul științelor actuale într-un tot unitar" declară matematicianul Miron Nicolescu la Colocviul național de pedagogie. Nu numai prin aspectul său cantitativ, dar mai ales prin aspectul său de simboluri și operațiuni cu acestea, matematica oferă fizicianului posibilitatea de a cerceta și interpreta natura fizică, de a împinge teoriile fizice dincolo de limitele limbajului obișnuit [23]). Se naște însă întrebarea dacă această corelație trebuie să fie numai o acțiune ireversibilă în sensul de la matematică înspre fizică ori, în anumite cazuri, ar trebui să funcționeze și invers? Căci respectînd riguros logica internă a fiecărei din aceste două discipline nu se va putea realiza un paralelism riguros între ele. Ce este de făcut în aceste condiții? Formalizarea matematică a fizicii — ca știință sau ca obiect de învățămînt — se realizează cu ajutorul conceptului de mărime fizică. Astfel „legile fizice, exprimate prin formule matematice, reprezintă relații între mărimi" [24]), iar fenomenele fizice și sistemele fizice (corpuri sau cîmpuri) se descriu prin speciile lor de proprietăți ordonabile, susceptibile de a fi măsurate [25–26]) prin specii de mărimi fizice. Pe această cale se pot exprima însușirile sistemelor și proceselor fizice cu ajutorul relațiilor matematice dintre mărimi. Orice specie de mărime fizică este grefată pe o specie de proprietăți ordonabile, și există o corespondență univocă între valorile elementelor mulțimii speciei de mărime și între valorile elementelor mulțimii numerelor reale. În conceptul de mărime fizică se reflectă două aspecte: unul calitativ, al speciei de însușiri fizice, exprimat prin unitatea de măsură și altul cantitativ, exprimat prin valoare amărimii fizice măsurate. Oricărei mărimi — de stare, de proces ori de material, — îi este propriu un procedeu demăsurare. Prin urmare mărimea fizică determină una din însu-

---

[18]) *N. Bărbulescu*: Fizica moleculară și căldură, Edit. Did. și ped. 1970, p. 3.

[19]) *E. Constantinescu, N. Stănescu*: Folosirea metodei modelării în procesul de învățămînt, în Revista de Pedagogie, nr. 7-8, 1969

[20]) *N. Stănescu* ș.a.; Fizica, manual exprimental al Inst. St. Ped. pt. an. II secț. reală, part. 1 pag. 21—39, 1970.

[21]) *M. Maliția:* Renovarea pedagogiei și a educației în spiritul științei moderne, Rev. de pedagogie, Nr. 1 — 1971

[22]) *E. Hutten*: op. cit. pag. 23

[23]) *E. Hutten*: op. cit. pag. 7

[24]) *N. Bărbulescu*: Fizica, vol. I Ed. Did și ped. 1964, pag. 17

[25]) *R. Răduleț*: Noile progrese ale științelor fizico-chimice și categoria de lege, în Mat. dial. și șt. naturii, vol. IV, 1964, pag, 149, și urm.

[26]) *G. Moisil*: op. cit. pag. 14 și urm.

şirile obiectului sau procesului fizic, nu însăşi obiectul sau procesul, care au multe laturi, măsurabile prin alte specii de mărimi. Unii fizicieni au tendinţa de a identifica mărimea fizică cu însăşi obiectul sau procesul a cărei specie de însuşiri o exprimă, adică au tendinţa de substanţializare a mărimilor fizice. Confruntarea părerilor competente va decide care din cele două poziţii este justă.

De asemenea este de elucidat şi o altă problemă : în predarea fizicii să se utilizeze numai instrumentul matematic elementar ori să se facă uz de toate cunoştinţele de matematică pe care şi le-a însuşit elevul pînă la data actului de predare a fizicii ?

5. Corelaţia interdisciplinară fizică-chimie ridică de asemenea probleme. „Ştiinţa care e, poate, cel mai profund, afectată de către fizică este chimia" [27]). Este greu de făcut o delimitare precisă între fizică şi chimie : amîndouă studiază structuri şi comportări ale unor colective de atomi şi molecule, diferenţiindu-se mai ales prin metodele de cercetare. Totuşi ele au domenii care se întrepătrund : chimia fizică, chimia cuantică, metoda statistică, studiul gazelor etc. Sînt necesare discuţii şi cercetări interdisciplinare, care să găsească o justă integrare a acestor ştiinţe.

6. Corelaţia interdisciplinară fizică-tehnică trebuie neapărat analizată, pentru că interacţiunea lor este puternică şi esenţială. Ştiinţa fizicii exercită o influenţă deosebită asupra economiei, asupra vieţii sociale de ansamblu, asupra vieţii de toate zilele. Datorită însă proceselor continue înregistrate de ştiinţă, uzura informaţiei în domeniul tehnicii este foarte rapidă. În acest context se ridică întrebarea asupra modalităţii de legare a teoriei cu practica în şcoala de cultură generală, ai cărei absolvenţi vor acţiona în tehnică peste 10—15 ani : elevii să cunoască maşinile şi uneltele din tehnica actuală ori e mai util să studieze principiile fizice ale funcţionării maşinilor şi uneltelor, fenomenele şi legile fizicii, care stau la baza construcţiei şi funcţionării maşinilor ? Care dintre cele două modalităţi statisface mai deplin funcţia formativă a fizicii şi în ce măsură ajută fiecare la crearea premiselor „educaţiei permanente" a „reciclării" absolvenţilor de mîine ?

Iată cîteva din problemele ridicate de necesitatea actualizării programelor de fizică, numai cîteva din cele ce se pot ridica. Selecţia materialului ce trebuie inclus în programe şi structurarea acestora pe linia micşorării entropiei lor sînt sarcini pentru rezolvarea cărora e necesară contribuţia tuturor oamenilor de ştiinţă precum şi a tuturor cadrelor didactice, care predau fizica sau alte discipline înrudite, la toate nivelele de învăţămînt.

IMPORTANŢA ORIENTĂRII TEMATICII CERCURILOR ŞTIINŢIFICE STUDENŢEŞTI DE FIZICĂ *)

Conf. univ. *G. MUNTEANU*, lector univ. *I. GAVRILA* Braşov

Formarea intelectualului de tip nou, multilateral pregătit, înzestrat cu cunoştiinţe temeinice de specialitate, capabil să aplice în procesul de instruire şi educare a elevilor metodele cele mai bune de predare, constituie un proces complex care începe în facultate şi se desăvîrşeşte în activitatea productivă.

*) Temă susţinută la consfătuirea SSFC din ianuarie 1970 la Timişoara.

[27]) *R. Feynman* : Fizica modernă vol. I Ed. teh. 1969, pag. 51

Unul din factorii importanți care contribuie la formarea stilului de muncă al viitorului specialist este cercul științific studențesc. Activitatea în cercul studențesc contribuie la consolidarea și îmbogățirea cunoștințelor, la dezvoltarea spiritului de observație, la studiul profund al legilor și fenomenelor naturii, la obișnuirea studentului cu metodele de cercetare, la trezirea interesului și pasiunii de a cerceta și aplica în mod continuu ceea ce este mai bun și mai înaintat. În cadrul cercului științific studentul învață să muncească într-un stil nou, cu simț de răspundere dezvoltat; se familiarizează cu diferite etape ale procesului creației științifice, învață să culeagă și să sintetizeze materialul bibliografic, să stabilească metodele de lucru corespunzătoare temei de cercetat. Astfel sub îndrumarea cadrului didactic de specialitate studentul își exersează deprinderi de muncă independente, își dezvoltă capacitatea de a gîndi creator, de a aplica în practică cunoștințele acumulate în facultate, capătă încredere în propriile sale forțe.

Importanța cercurilor științifice studențești este subliniată în multe articole din Revista învățămîntului superior, în care se sugerează o serie de metode de îndrumare a activității acestor cercuri [1], [2], [3] scoțîndu-se în evidență contribuția lor în formarea viitorilor specialiști. Unii autori arată că rezultate din cele mai bune se obțin în special la cercurile a căror tematică este legată de specificul profesiunii alese, munca de cercetare în acest caz fiind mai atrăgătoare pentru studenți. O măsură care a dat rezultate remarcabile la Institutul de petrol, gaze și geologie București, a fost repartizarea temelor de cercetare, pentru multe din cercurile studențești, pe locurile de practică în producție [4].

De asemenea la a X-a Conferință pe țară a cercurilor științifice studențești (1969), majoritatea temelor selecționate — deci cele mai bune lucrări — au fost axate pe probleme legate direct de specificul profesiunii alese.

Mai puțin se vorbește însă de cercurile științifice studențești de fizică. Dacă ne referim la aceasta din punct de vedere al orientării tematicii ținînd cont de specialitatea pe care o capătă studentul după terminarea facultății și mai puțin. Cu excepția unui singur articol [5] am putea spune că în această direcție nu s-a studiat cu mai multă profunzime și nu s-au publicat rezultatele unor experiențe realizate la unele Institute.

În acest articol ne propunem să tratăm unele aspecte privind cercurile științifice studențești de fizică la Institutele de Învățămînt superior cu profic tehnic și la Institutele de Învățămînt superior cu profil pedagogic.

Necesitatea organizării cercurilor studențești de fizică cu tematică orientată în funcție de profesiunea aleasă de viitorii ingineri, se impune în mod categoric. Deși actualmente fizica se studiază în anii I și II la Institutele politehnice, există totuși după părerea noastră condiții optime desfășurării cercurilor de fizică deci, aceste lucruri n-ar mai trebui discutate. Deoarece, există însă și unele păreri contrare vom enumera cîteva argumente în sprijinul acestei considerațiuni: deprinderea modului de informare bibliografică, organizarea unor experiențe, prelucrarea datelor experimentale, interpretarea rezultatelor obținute, stabilirea concluziilor etc. Acești factori importanți contribuie la lărgirea orizontului științific, la aprofundarea unor cunoștințe de fizică la fundamentarea fizică a științelor tehnice.

Caracterul experimental al tematicii cercurilor ştiinţifice studenţeşti este evident. Din experienţa îndelungată acumulată în activitatea ştiinţifică se desprinde concluzia că rezultatele cele mai bune se obţin în cadrul temelor care îmbină aspecte teoretice ale fizicii cu aplicaţii concrete ale acestora în disciplina tehnică de specialitate a studentului. Astfel în cadrul cercurilor de fizică de la Institutul politehnic Braşov, în decursul anilor, cele mai fructuoase teme s-au dovedit a fi cele privitoare la interacţiunile radiaţiilor nucleare şi ultrasunetelor în substanţă, cu aplicaţii în diverse domenii de specializare a studenţilor, ca de exemplu :

— „Măsurarea radiometrică fără contact a grosimii tabelelor (fac. de mecanică), a plăcilor aglomerate din lemn (PAL) şi fibrelor lemnoase (PFL) la facultatea Industrializarea lemnului, sau influenţa ultrasunetelor asupra unor proprietăţi fizice şi mecanice ale unor substanţe (facultatea Silvicultură). Remarcăm concluzii asemănătoare de la Consfătuirea pe ţară a cercurilor ştiinţifice studenţeşti de fizică (Timişoara nov. 1969), unde s-au prezentat teme ca : „Celula Kerr pentru modificarea fasciculului laser" (Institutul politehnic Bucureşti fac. electronică şi telecomunicaţii) Aplicaţiile radionuclizilor la cercetarea uzurii de rodaj a acului injectorului I G. 4 ×0275 de la motoarele Diesel (Institutul politehnic Braşov, facultatea mecanică, secţia autovehicul rutier).

La orientarea tematicii acestor cercuri ştiinţifice studenţeşti trebuie să se ţină seamă de următoarele :

a.) Specificul tehnic a acestui învăţămînt. În acest sens este necesar să se abordeze cu precădere teme în care legătura dintre fizică şi tehnică să fie cît se poate de directă, prin rezolvarea cărora viitorul inginer să-şi formeze convingerea fermă de aportul fizicii la rezolvarea unei probleme tehnice din specialitatea sa.

b.) Fundamentarea fizică a cunoştinţelor tehnice, aceasta cu scopul de a reaminti importanţa şi necesitatea studierii fizicii în Institutele tehnice superioare.

Prin orientarea obiectivă a tematicii, aceste cercuri devin un mijloc preţios şi eficace în scopul combaterii hotărîte unor concepţii dăunătoare care mai dăinuie la unii studenţi privitor la inutilitatea predării fizicii la Institutele tehnice de învăţămînt superior.

Prin activitatea desfăşurată în cadrul cercurilor ştiinţifice de fizică, studentul de la Institutul tehnic de învăţămînt superior trebue să simtă necesitatea pregătirii în domeniul fizicii, pentru specialitatea sa. El va deveni în acest fel nu numai un inginer în sensul corect al acestui termen, dar şi un propagator al realei relaţii dintre fizică şi tehnică atît între actualii colegi — studenţi — cît şi între cei viitori.

Pentru stîrnirea interesului şi demonstrarea detailată a posibilităţilor metodelor fizice, tematica cercurilor ştiinţifice studenţeşti de la aceste Institute trebue orientată şi spre problemele cele mai actuale din fizică, care preocupă opinia publică prin noutatea lor şi perspectivele care le deschid. Tematica ar de fi dorit să asigure — în funcţie de posibilităţile catedrelor — ambele cerinţe, adică alegerea unor teme care să aibă o legătură directă, strînsă, cu ştiinţele tehnice de specialitate ale membrilor cercului şi să cuprindă şi cele mai noi domenii de lucru în fizică. În unele cazuri pot fi tratate teme care vor fi dezvoltate şi utilizate în cadrul proiectelor de diplomă. Aceste teme trezesc interes, entuziasm, dezvoltă pasiunea de cercetare.

La Institutele de Învățămînt superior cu profil pedagogic orientarea tematicii cercurilor științifice studențești spre cercetarea aspectelor metodice ale activității profesorului de fizică, a metodicii predării unor lecții de fizică etc. constituie un factor important al pregătirii viitorilor profesori.

Chezășia pregătirii temeinice pentru toate domeniile de specialitate își are rădăcini adînci în școala generală, în liceu. Pentru formarea viitorilor tehnicieni, a specialiștilor de înaltă calificare, profesorul de fizică are un rol deosebit de important. De aceea considerăm că trebuie acordată o atenție deosebită și viitorilor profesori, capabili să aplice cele mai bune și moderne metode în predarea lecțiilor, pentru pregătirea temeinică a elevilor. Pe lîngă practica pedagogică, la aceasta pot contribui în bună măsură cercurile științifice care să aibă ca obiect tocmai studierea celor mai eficace metode de predare a fizicii în școală.

În cadrul acestor cercuri științifice studenții pot aprofunda anumite probleme legate de specificul muncii didactice și de specialitatea respectivă, pot să-și formeze priceperi și deprinderi de a găsi metode noi de comunicare a cunoștințelor, de demonstrare a anumitor legi și fenomene, de modernizare a procesului de predare și a conținutului lecțiilor de fizică etc. Totodată ei se pot familiariza cu problemele muncii de cercetare în acest domeniu, pot învăța cum să studieze și să aplice metodele de muncă cele mai adecvate, cum să transmită și altora din experiența muncii lor.

Sînt foarte mulți profesori de liceu care aplică metode bune în muncă cu clasa, sînt adevărați maeștri ai predării fizicii, dar puțini din ei cercetează riguros științific aceste metode și mai puțini comunică rezultatele obținute în sesiuni științifice sau în reviste de specialitate.

Activitatea studenților în cercurile științifice cu tematică din domeniul muncii metodice poate contribui la înlăturarea în mare parte a acestei lipse și să ajute la pregătirea lor mai profundă ca profesori. Astfel ei vor putea studia mai profund unele aspecte metodice privind demonstrațiile experimentale, lucrările de laborator, antrenarea elevilor în rezolvarea problemelor de fizică etc. formîndu-și deprinderea de a activa ca cercetători în cadrul școlii unde vor lucra, folosind izvorul nesecat al experienței pentru îmbunătățirea continuă a metodelor de predare.

La facultatea de Fizică-Chimie de la Institutul pedagogic Brașov, am organizat și condus în mai mulți ani cercuri științifice cu studenții anului II., ale căror teme au avut un caracter metodic, legate de activitatea desfășurată în cadrul facultății și de cea care le-o oferă profesiunea aleasă, după absolvirea Institutului. Astfel, pe lîngă cercuri cu tematici pur științifice s-au studiat teme din domeniul muncii metodice, ca de exemplu : „Metodica predării unor lecții : Motorul electric ; Legile curentului electric ; „Metodica rezolvării problemelor de fizică ; „Stimularea activității independente a elevilor la lecțiile de fizică' etc.

Studierea acestor probleme a dat posibilitatea studenților să aprofundeze cunoștințele teoretice studiate în cadrul cursurilor și la seminarii, a problemelor ridicate de metodica predării acestor teme la elevi și a contribuit la formarea de priceperi și deprinderi pentru a construi unele aparate necesare la demonstrațiile din cadrul lecțiilor. Problemele ridicate de aceste teme au trezit interesul majorității studenților care s-au antrenat cu elan și seriozitate în rezolvarea lor. Studierea și aprofundarea documentației respective le-a lărgit orizontul științific și metodic. Proiectarea și construirea aparaturii necesare pentru demonstrații, prin mijloace

simple, în cadrul laboratorului de tîmplărie şi lăcătuşerie, sub îndrumarea cadrului didactic respectiv, i-a obligat pe membrii cercului să studieze mai profund cerinţele metodice ale efectuării demonstraţiilor, a adaptării aparatelor cerinţelor desfăşurării în cele mai bune condiţiuni a lecţiilor respective.

Problemele şi referatele discutate pe etape în şedinţele cercului şi concluziile la care s-a ajuns urmează a fi verificate în practică la lecţiile de probă ţinute de studenţi în cadrul practicii pedagogice sub îndrumarea metodicianului. Aceste lecţii ţinute de membrii cercului în cadrul tematicii stabilite, sub îndrumarea metodicianului, au constituit un viu exemplu pentru toţi ceilalţi studenţi; discuţiile purtate pe marginea lor au fost totdeauna vii şi instructive. Pe baza concluziilor trase cu această ocazie membrii cercului şi-au îmbunătăţit referatele întocmite care apoi au fost susţinute în faţa anului întreg.

Cea mai dificilă temă — dar care a trezit un viu interes — a fost „Stimularea muncii independente a elevilor la lecţiile de fizică". În centrul activităţii cercului a stat problema studierii celor mai eficace metode de predare pentru stimularea activităţii independente, ceratoare a elevilor în timpul desfăşurării lecţiilor de fizică. Strîngerea materialului bibliografic s-a făcut în mod obişnuit, ca şi la celelalte teme. Efectuarea cercetării concrete a metodelor celor mai bune folosite în clasă a fost mai dificilă. Lipsa unei legături permanente cu clasa, a unei munci continue la catedră, a făcut ca, la început, membrii cercului să întîmpine greutăţi în efectuarea observaţiilor. De aceea rezolvarea temei a fost împărţită în două părţi principale :

a.) Observaţia în timpul predării lecţiilor de către profesorul titular (în cadrul asistenţelor de la practica pedagogică), înregistrarea metodelor folosite de către acesta pentru antrenarea elevilor la o activitate independentă în clasă, a rezultatelor obţinute, propuneri.

b.) Aplicarea anumitor metode de predare care să antreneze în activitatea independentă elevii din clasă, în timpul predării lecţiei de către studentul respectiv (membru al cercului).

În prima parte, timp de un semestru, studenţii s-au familiarizat cu problemele predării, au învăţat cum să facă observaţia, ceea ce a constituit un real ajutor pentru desfăşurarea activităţii din partea a doua a lucrării. Partea a doua a lucrării s-a desfăşurat în semestrul doi al aceluiaşi an. Pe baza bibliografiei studiate a observaţiilor de la asistenţele la lecţii, membrii cercului au venit cu o serie de propuneri noi privind antrenarea activă şi stimularea activităţii independente la lecţiile de fizică. Rezultatele au fost verificate experimental în cadrul lecţiilor de probă ţinute de către membrii cercului. În acest sens s-au stabilit, pentru fiecare lecţie care urma să o ţină unul din membrii cercului, experienţele demonstrative considerate adecvate scopului propus, problemele întrebări precum şi alte metode menite să stimuleze gîndirea independentă a elevilor în timpul lecţiei de fizică. De asemenea s-au stabilit sarcinile fiecărui membru al cercului privind observarea — pe momente — a desfăşurării lecţiei respective. Evident că toate aceste activităţi au fost îndrumate de metodicianul conducător al practicii şi în conformitate cu normele cerute de programă.

Analiza primei lecţii a constituit baza de pornire pentru alte experimentări, la lecţiile următoare ţinîndu-se cont de observaţiile şi de consul-

tările făcute la lecția precedentă, aducîndu-se în continuu îmbunătățiri metodei stabilite. Deși la primele lecții, mult mai bune ca ale celorlalți studenți, s-au observat unele stîngăcii în introducerea metodelor noi, mai puțin obișnuite, acestea au dispărut începînd cu a doua lecție, în final obținîndu-se rezultatele scontate.

Studierea profundă atît a problemelor teoretice cît și a problemelor metodice de predare a avut ca rezultat ținerea unor lecții de probă și finale foarte bune de către membrii cercului, la aplicarea cu succes a unor metode de activizare a elevilor, indicate în bibliografia studiată precum și la introducerea unor metode noi.

La comunicarea lucrării în fața anului, s-au purtat discuții vii, aducîndu-și contribuții creatoare și alți studenți, în afară de membrii cercului, care au urmărit unele aspecte contribuind la îmbunătățirea lucrării care a fost apoi publicată. Contribuția adusă de acești studenți, interesul acordat problemelor tratate de întregul an de studii, atestă că aceste cercuri constituie un mijloc important în pregătirea studenților pentru viitoarea lor profesiune.

În cadrul acestor cercuri științifice de fizică se pot studia probleme ca :

a.) Metodica predării lecțiilor de fizică : prezentarea problemelor metodice principale ; construirea și pregătirea materialului demonstrativ, utilizarea lui în lecție, probleme ale modernizării conținutului lecțiilor de fizică și a metodelor de predare. Lecțiile studiate metodic și prezentate în ședința cercului să fie susținute și în clasă în cadrul lecțiilor de probă.

b.) Aplicarea unor metode de predare în cadrul lecțiilor de probă cu scopul de a stimula gîndirea independentă a elevilor, prin prezentarea unor experiențe demonstrative deosebite, prin alcătuirea și rezolvarea unor probleme de fizică originale etc.

Studierea unor probleme de metodică în cadrul cercului, verificarea lor în clasă și discutarea referatelor cu anul întreg de studii, contribuie în bună măsură la dezvoltarea și formarea unor profesori care să se prezinte bine pregătiți la școlile de cultură generală și la licee. Pe de altă parte, unele din temele cercului pot constitui nuclee pentru lucrarea de gradul doi pe care absolvenții sînt chemați s-o alcătuiască în următorii zece ani.

În concluzie se desprinde necesitatea — ca indiferent de specificul învățămîntului superior, tehnic sau pedagogic — orientarea tematicii cercurilor științifice studențești de fizică să fie axată pe profilul specialității studentului.

BIBLIOGRAFIE

[1] *Gh. Manea* : „Cercurile științifice studențești" Revista învățămîntului superior nr. 4/61.

[2] *P. Dumitrașcu* : „Activitatea științifică a studenților facultății de filologie a Universității Cluj" Revista îmv. superior nr. 8/1962.

[3] *F. Barca* : „Asupra conținutului activității științifice studențești" Revista înv. superior nr. 6/1966 ; E. ONET : „Rolul formativ al cercurilor științifice studențești Rev. Forum. nr. 11/1969.

[4] *M. Murgu* : „Din experiența de conducere a activității științifice a studenților" Rev. superior nr. 3/1962.

[5] *I. Gavrilă* : „Cercurile științifice studențești de fizică" Rev. înv. superior nr. 8/1968.

CONTRIBUȚIA CONCURSURILOR DE FIZICĂ ALE ELEVILOR la îmbunătățirea învățămîntului fizicii în țara noastră

NICOLAE STĂNESCU, LIDIA PANAIOTU, ELENA TEODORU, București

De multă vreme s-au împămîntenit în practica școlară concursurile elevilor. În activitatea artistică, sportivă, literară sau științifică a elevilor, concursurile au reprezentat un mod de valorificare în plus a potențialului, a cunoaștințelor, a priceperilor formate în școală și în afară de școală.

Pentru elevi, ca și pentru profesori, concursurile de fizică reprezintă o confruntare a fiecăruia cu ceilalți, o comparare a propriilor aprecieri cu aprecierile altora, o stimulare la maximum a activității lor.

Continuînd o tradiție mai veche, sub conducerea Ministerului Învățămîntului, Societatea de Științe Fizice și Chimice a organizat din anul înființării sale (1964) și pînă acum concursul de fizică al elevilor din licee și școli profesionale. În noua formă, concursul de fizică se află în al optulea an de existență.

S-a acumulat suficientă experiență pentru ca printr-o privire asupra desfășurării lui să se poată descifra pe ce cale a mers acest concurs și ce direcții se întrevăd pentru a fi urmate în viitor.

În această perioadă (1964—1971) a crescut numărul liceelor teoretice și de specialitate în întreaga țară, a crescut numărul școlilor profesionale; un număr tot mai mare de tineri a fost cuprins în aceste forme de învățămînt.

Pe măsura acestei creșteri se poate nota și numărul participanților la concurs (2267 în 1964, 8270 în 1967, 15000 în 1971)

Continua preocupare pentru modernizarea învățămîntului, punerea lui în acord cît mai deplin cu comanda socială, a condus la conturarea unor cerințe și pentru învățămîntul de fizică. S-au efectuat prefaceri de programe, de manuale etc. în vederea îmbunătățirii lor.

La îmbunătățirea învățămîntului fizicii, la realizarea scopurilor lui educative, a slujit și Concursul de Fizică, acționînd direct asupra unor parametri principali.

În primul rînd concursul de fizică a contribuit la ridicarea nivelului cunoștințelor elevilor în masă. Edificator în acest sens poate fi considerat faptul că punctajul necesar pentru calitatea de *reușit la concurs* a crescut treptat de la 14 puncte în 1964 la 16 puncte în 1967 și la 18, puncte din 20, în 1971. Ridicarea de punctaj s-a făcut pe fondul unei continue sporiri a dificultății subiectelor de concurs.

În al doilea rînd, concursul de fizică a contribuit la dezvoltarea și valorificarea posibilităților elevilor celor mai dotați. El a reprezentat un stimulent al talentelor. Astfel unii premianți I pe țară ai concursului de fizică în toate, sau aproape toate, cele 4 clase de liceu au devenit studenți eminenți la Facultatea de Fizică. Dacă în anii trecuți membrii echipei noastre reprezentative la Concursul Internațional de Fizică se înscriau parțial la Facultatea de Fizică, în 1970 toți coechipierii au devenit studenți ai Facultății de Fizică.

Creșterea nivelului de cerințe la concursul de fizică pe plan republican s-a reflectat și în rezultatele obținute de elevii noștri participanți la

BIBLIOTECA „ASTRA" SIBIU

Concursul Internațional de Fizică. Acești participanți sînt selecționați dintre candidații la concursul național de fizică, care, după o pregătire specială în cadrul Societății de Științe Fizice și Chimice, sînt supuși la anumite probe de baraj.

La concursul de la Varșovia (1967) echipa noastră era formată din elevi care nu terminaseră liceul (clasa X) și s-a situat pe ultimul loc. La fel s-a întîmplat și la concursul de la Budapesta (1968). Totuși, aici, deși elevii noștri erau numai în clasa XI, la probele care corespundeau materiei studiate de ei (mecanică, căldură, electricitate), au obținut punctaje maxime.

La concursul internațional de fizică de la Brno (1969) am obținut un premiul I, o mențiune specială pentru proba de mecanică, un premiu III și o mențiune.

Anul trecut (1970) la cea de a IV-a etapă a concursului internațional de fizică, de la Moscova, s-au obținut 3 premii III și o mețiune, dar punctajul general atins de grupul nostru a permis trecerea de pe locul 8 pe locul 5 în clasamentul pe echipe.

Nivelul prezentării noastre la concursul internațional este deci în ascensiune.

În al treilea rînd, concursul de fizică a contribuit indirect și la modernizarea stilului de predare al profesorilor. Metodele de predare, de îndrumare a studiului elevilor, au avut în vedere și pregătirea lor pentru a se prezenta la concursul de fizică. Într-un mod ar trebui să-și desfășoare lecțiile profesorul, atunci cînd știe că examenul (concursul) va cere în primul rînd memorarea unor fapte disparate, a unor formule fără demonstrație, și în alt mod, atunci cînd concursul va avea ca scop verificarea capacității de sinteză, a posibilităților de exprimare, a legăturilor logice făcute de elevi.

Ca o adevărată conexiune inversă, prin scrisorile trimise la SSFC, profesorii au exprimat reacția lor față de subiectele date la concurs, contribuind astfel la o reglare adecvată a conținutului și nivelului concursului. Inițial subiectele păreau necrezut de dificile, punctajul elaborat pentru notare părea foarte greu de îndeplinit, dar treptat, după ce s-au produs anumite schimbări în bine, s-au creat premise care au permis ca atît subiectele cît și punctajul lor pentru etapa locală să fie alcătuite la nivel județean (1971).

An de an, subiectele au devenit tot mai pretențioase, dar elevii care întruneau un mare număr de puncte, nu s-au împuținat.

În al patrulea rînd, concursul de fizică aduce o valoroasă și crescută contribuție la desfășurarea procesului de modernizare a învățămîntului fizicii prin stabilirea subiectelor de concurs, prin cerințe care duc la dezvoltarea prioritară a laturii formative în predarea fizicii.

La început, nivelul subiectelor a crescut prin mărirea cantității de informație cerută, ceea ce a avut ca urmare o creștere a ariei informaționale. Elevii au încercat să satisfacă aceste cerințe prin studierea unor tratate superioare de fizică. Exemplu : natura luminii, evoluția ideilor, fapte experimentale (1966) tensiunea electromotoare și producerea ei (1968). Extinderea bibliografiei pentru pregătirea concursului a stimulat munca elevilor, a creat premize pentru formarea unor deprinderi de studiu individual.

Depăşind acest stadiu, s-a trecut la introducerea unor probleme întrebări (1968 — etapa republicană) alături de cele obişnuite, de calcul şi s-au elaborat baremuri cu cerinţe care puneau în valoare calculul literal.

Matematizarea în fizică era deci folosită atît la aspectul cantitativ cît şi acela simbolistic, trăsături ale ştiinţei contemporane. (Punctajul pentru probleme şi subiecte teoretice în 1969 şi 1970).

S-a păşit apoi la schimbarea însăşi a structurii temelor teoretice. De la subiecte care vizau aria informaţională, deci subiecte care sondau „cît" ştiu elevii, s-a trecut la subiecte care vizau testarea capacităţii operaţionale a gîndirii elevilor, la subiecte care sondau „cum" ştiu elevii şi „ce pot face" ei cu informaţia stocată. Aceasta reprezintă un aspect esenţial al laturii formaţionale a educaţiei. De exemplu : în loc să se dea la anul I ca temă „conservarea energiei şi aplicarea ei în cazul mişcării corpurilor în cîmp gravitaţional" s-a dat tema : „din vîrful unui turn se lansează mai multe corpuri cu aceeaşi viteză iniţială în toate direcţiile ; care din aceste corpuri va atinge solul cu viteza mai mare ; dece ?". Sau, la anul II la tema „care sînt cauzele pentru care legile gazului ideal nu dau rezultate exacte cînd sînt aplicate gazelor reale ? " elevii trebuiau să deslușească bine deosebirea dintre model şi realitatea pe care o reprezintă limitele de aplicabilitate ale unor legi cunoascute, descoperite pentru anumite domenii etc. atîtea operaţii intelectuale pe care nu le-ar fi utilizat descriind proprietăţile gazului ideal şi a celor reale. Tot aşa elevii anului IV nu erau chemaţi să spună tot ce ştiau despre foton şi proprietăţile lui, ci erau invitaţi să arate şi să justifice motivele pentru care fotonul nu poate fi considerat o particulă mecanică. (Exemplele de subiecte sînt de la etapa judeţeană anul 1971). În felul acesta activitatea elevului în timpul concursului de fizică nu are un caracter de reproducere a unor cunoştinţe şi acela de activitate cercetătoare, de orientare în situaţii problematice, de rezolvare de probleme, ceea ce înseamnă un substanţial aport pentru modernizarea valorificării fizicii învăţate în liceu.

Prin includerea *Revistei de Fizică şi Chimie seria B* ca material bibliografic obligator pentru pregatirea concursului, elevii sînt deprinşi să cerceteze un periodic ştiinţific care le oferă materiale corespunzătoare nivelului lor de pregătire, şi altfel structurate decît în manuale.

Înfiinţarea din 1970 a concursului de fizică şi pentru elevii şcolii generale, permite formarea dragostei pentru fizică a tinerilor de la cea mai fragedă vîrstă.

Dintre cîştigătorii acestor concursuri, se vor forma fizicienii noştri de mîine, inovatorii şi inventatorii generaţiilor viitoare.

În concluzie, se poate afirma că, Concursul de Fizică prin desfăşurarea lui a contribuit la conturarea unei concepţii moderne asupra învăţării fizicii în şcoala de cultură generală.

c. 2169

Index 43459

Lei 3

SOCIETATEA DE ȘTIINȚE FIZICE ȘI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista DE FIZICĂ ȘI CHIMIE

SERIA A
VOLUMUL VIII

5

MAI 1971

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE

STR. NUFERILOR 23, SECTORUL 7 BUCUREȘTI—46, TELEFON 16,42.86

SUMAR

Pag.

Florea Uliu, Craiova

1. Modelul statistic al atomului 161

Gavril Niac, Cluj

2. Cum arată orbitala 1s și cît este de mare atomul de hidrogen 166

Edith Rothbächer, H. Rothbächer, Brașov

3. Spectrofotometria de absorbție în ultraviolet și vizibil ca metodă de cercetare științifică. 172

Prof. *Iosif Al. Mathe*, Șimleul Silvaniei

4. Energia calorică sub aspectul energiei cinetice a particulelor și sub aspectul radiației electromagnetice 182

Prof. *Otto E. G. Aczel*, Timișoara

5. Legile și relațiile fizicii în lumina conexiunii cauzale dintre fenomene 189

Lucia Constantinescu, Ovidiu Constantinescu, Buc.

6. O metodă de măsurare a rezistivității unui semiconductor, fără a folosi în circuitul de compensare un element normal. 195

Octavian Iacob, București

7. Trusa mecanica lichidelor (tip II). 298

COMITETUL DE REDACȚIE

Constantin D. Albu, lector univ.; **Teodor Bohățiel**, asist. univ.; **Simion Bulgăreu**, prof. **Maria Codreanu**, prof.; **Andra Körner**, redactor; **Nicole Martaloglu**, conf. univ. **Eleonora Mihul**, cercetător; **Ion C. Moisil**, conf. univ.; **Alice Negoescu**, prof **Ion C. Petrea**, conf. univ.; **Victor Sahini**, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România); **Elena Teodoru**, prof. redactor șef

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

(Seria A)

PUBLICAŢIE LUNARĂ PENTRU TINERET

Anul VIII Nr. 5 mai 1971

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

MODELUL STATISTIC AL ATOMULUI

Asist. *FLOREA ULIU*, Cat. de Fizică, Univ. Craiova

După cum se ştie, orice atom este constituit dintr-un nucleu încărcat electric pozitiv, aşezat într-o poziţie centrală şi un „nor" de electroni, ce se află distribuit în jurul acestuia. Mecanica cuantică permite în principiu determinarea exactă a modului în care sînt distribuiţi electronii unui atom pe pături şi subpături. Din nefericire însă, în cazul atomilor cu un număr mare de electroni ($Z \geqslant 2$), rezolvarea ecuaţiei lui Schrödinger implică dificultăţi matematice considerabile. Thomas şi Fermi au încercat (în anul 1927) să determine, în cazul atomilor cu Z mare, distribuţia electronilor din nor cu ajutorul metodelor fizicii statistice. Desigur, aplicarea metodelor statistice la nivel microscopic aduce, de la bun început, erori principiale. Totuşi, dacă Z este suficient de mare, erorile nu sînt prea grosolane. Într-o astfel de tratare, va trebui să ţinem cont în mod nemijlocit de principiul de excluziune al lui Pauli. Conform acestuia, stările electronice inferioare din atom sînt „ocupate" de cîte doi electroni. Majoritatea electronilor găsindu-se pe nivelele energetice superioare, care după cum se ştie sînt din ce în ce mai apropiate, vom putea considera pentru aceştia o variaţie energetică continuă, conform relaţiei:

$$E = \frac{\vec{p}^2}{2m} \tag{1}$$

$\vec{p}$ fiind impulsul electronului, care variază şi el continuu.

În cele ce urmează vom studia ansamblul tuturor electronilor care alcătuiesc norul. Vom numi densitate de electroni în nor, numărul electronilor din unitatea de volum $n = N/V$. Presupunînd pentru problema noastră o simetrie spaţială sferică, într-o aproximaţie suficient de rezonabilă, vom admite că n este funcţie numai de distanţa r faţă de centrul nucleului, considerat în origine: $n = n(r)$.

Problema care se pune este de a determina, printr-un calcul statistic, forma funcţiei $n(r)$ şi implicit densitatea de sarcină din nor. Pentru aceasta, la început este necesar să facem o analiză mai detaliată a sistemului statistic considerat. Evident, fiecare electron aparţinînd norului se află sub influenţa electrostatică a norului (a celorlalţi electroni din nor) şi a nucleului. Mai exact, potenţialul acestui cîmp global $\varphi(r)$, se compune dintr-un

termen repulsiv ce descrie interacţia electronului cu restul electronilor din nor şi un termen atractiv ce descrie interacţia electronului cu nucleul. Pentru moment forma acestui potenţial ne este necunoscută. Evident, ea poate fi scrisă în mod explicit, dar aceasta nu ne-ar fi prea util deoarece ecuaţia Schrödinger corespunzătoare ar fi destul de complicată. Aici însă dorim să obţinem o expresie aproximativă pentru $\varphi(r)$, bazîndu-ne în exclusivitate pe considerente statistice şi estimări cu conţinut fizic destul de probabil. Ştim deja un lucru destul de important, anume faptul că pentru $r \to \infty$, potenţialul $\varphi(r)$ tinde la zero. Un alt fapt care are o deosebită semnificaţie este acela că energia electronilor din nor este $\leqslant 0$, ei fiind legaţi în atom. Avem deci pentru orice electron :

$$E = \frac{\vec{p}^2}{2\,m} - e\,\varphi\,(r) \leqslant 0, \tag{2}$$

semnul de egalitate corespunzînd cazului limită cînd electronul poate părăsi atomul de care era legat. Luînd în (2) semnul de egalitate obţinem impulsul maxim al unui electron care mai este încă legat în atom :

$$p_{max} = (2\,m\,e\,\varphi\,(r))^{1/2} \tag{3}$$

Deoarece electronii periferici sînt slab legaţi, rezultă că aceştia au valori ale impulsurilor destul de apropiate de valoarea determinată a lui p_{max}.

Vom aplica acum pentru norul electronic rezultatele specifice gazului electronic degenerat. În spaţiul fazelor pentru, un electron, volumul W corespunzînd unei valori date a energiei E este dat de relaţia :

$$W = \int \mathrm{d}x\,\mathrm{d}y\,\mathrm{d}z \int \mathrm{d}p_x\,\mathrm{d}p_y\,\mathrm{d}p_z = 4\,\pi\,V \int_0^{p=\sqrt{2mE}} p^2\,\mathrm{d}p = \frac{4\pi}{3}\,V\,(2mE)^{3/2} \tag{4}$$

Volumul cuprins între hipersuprafeţele corespunzînd la E şi $E + \mathrm{d}E$, se obţine prin diferenţiere :

$$\mathrm{d}\,W = \frac{\partial W}{\partial E}\,\mathrm{d}E = 4\pi\,mV\,(2m\,E)^{1/2}\,\mathrm{d}E \tag{5}$$

Ştiind că fiecărei stări îi corespunde un volum elementar egal cu h^3, unde h este constanta lui Planck, conchidem că numărul de stări din volumul $\mathrm{d}W$ este :

$$\Omega(E)\,\mathrm{d}E = \frac{1}{h^3}\,\mathrm{d}\,W = \frac{4\pi\,mV}{h^3}\,(2\,m\,E)^{1/2}\,\mathrm{d}E \tag{6}$$

În realitate, din cauza degenerării de spin, numărul de stări este de două ori mai mare, adică are valoarea :

$$\widetilde{\Omega}\,(E)\;\mathrm{d}E = \frac{8\pi\,mV}{h^3}\,(2m\,E)^{1/2}\,\mathrm{d}E \tag{7}$$

Integrînd relaţia (7) de la 0 la E_{max} trebuie să obţinem chiar numărul total de electroni din volumul V, adică :

$$N = \frac{8\pi mV}{h^3}\sqrt{2m}\int_0^{E_{max}} E^{1/2}\,\mathrm{d}E = \frac{16\pi\, mV}{3\,h^3}\sqrt{2m}\,E_{max}^{3/2} \tag{8}$$

Ţinînd cont de faptul că $N = n\,V$ şi luînd în considerare expresia lui $E_{max} = p_{max}^2/2m$, cu p_{max} dat de relaţia (3), obţinem :

$$n(r) = \frac{8\pi}{3h^3}(2m\,e\,\varphi(r))^{3/2} \tag{9}$$

Densitatea volumică de sarcină fiind $(-en(r))$, vom putea scrie :

$$\rho(r) = -\frac{8\pi e}{3h^3}(2m\,e\,\varphi(r))^{3/2} \tag{10}$$

Pentru determinarea lui $\varphi(r)$ trebuie să integrăm ecuaţia lui Poisson :

$$\Delta\,\varphi = -\frac{\rho}{\varepsilon_0} = \frac{8\pi e}{3\varepsilon_0 h^3}(2m\;e\;\varphi\,(r))^{3/2} \tag{11}$$

Scriind expresia operatorului Laplace în coordonate sferice şi reţinînd din aceasta, în baza presupunerii făcute iniţial, numai dependenţa de r, obţinem :

$$\frac{\mathrm{d}^2\varphi}{\mathrm{d}r^2} + \frac{2}{r}\frac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{d}r} = \frac{8\pi e}{3\,\varepsilon_0 h^3}(2m\;e\;\varphi\,(r))^{3/2} \tag{12}$$

Fie acum $x = r/a$, o variabilă adimensională şi $x = 4\,\pi\,\varepsilon_0\,r\,\varphi\,(r)/Ze$, o funcţie adimensională. Mărimea a cu dimensiuni de lungime, va fi aleasă de forma :

$$a = \left(\frac{9\pi^2}{128}\right)^{1/3}\cdot a_0\cdot Z^{-\frac{1}{3}} \cong 0{,}885\;a_0\,Z^{-\frac{1}{3}},\quad a_0 = \frac{\varepsilon_0\,h^2}{\pi\,m\,e^2}, \tag{13}$$

unde a_0 este raza Bohr.
Cîteva calcule elementare ne conduc în cele din urmă la următoarea ecuaţie diferenţială :

$$\sqrt{x}\,\frac{\mathrm{d}^2\,\mathrm{X}\,(x)}{\mathrm{d}x^2} = \mathrm{X}^{3/2}\,(x) \tag{14}$$

Pentru rezolvarea acestei ecuații trebuie neapărat să se facă apel la metodele analizei numerice. Un tabel cu valori ale funcției X corespunzînd la diferite valori ale variabilei x este dat mai jos :

x	X(x)	x	X(x)
0,00	1,000	3,00	0,157
0,02	0,972	3,20	0,145
0,04	0,947	3,40	0,134
0,06	0,924	3,60	0,125
0,08	0,902	3,80	0,116
0,10	0,882	4,00	0,108
0,20	0,793	4,50	0,0919
0,30	0,721	5,00	0,0788
0,40	0,660	6,00	0,0594
0,50	0,607	7,00	0,0461
0,60	0,561	8,00	0,0366
0,70	0,521	9,00	0,0296
0,80	0,485	10,00	0,0243
0,90	0,453	11,00	0,0202
1,00	0,424	12,00	0,0171
1,20	0,374	13,00	0,0145
1,40	0,333	14,00	0,0125
1,60	0,298	15,00	0,0108
1,80	0,268	20,00	0,0058
2,00	0,243	25,00	0,0035
2,20	0,221	30,00	0,0023
2,40	0,202	40,00	0,0011
2,60	0,185	50,00	0,00063
2,80	0,170	60,00	0,00039

Din tabel se observă că valoarea maximă a lui X este egală cu 1 pentru $x = 0$; pentru $x \to \infty$ funcția X tinde spre zero. Le început, pentru valori mici ale lui x, funcția X are o descreștere destul de rapidă. Comportarea funcției $X = X(x)$ ne sugerează ideea scrierii unei parametrizări exponențiale de tipul $\widetilde{X}(x) = \exp(-\alpha x)$, cu α pozitiv. Pentru determinarea lui α astfel încît funcția $\exp(-\alpha x)$ să fie cea mai bună aproximație a funcției X(x), vom observa mai întîi că ecuația (14) este ecuația Euler-Lagrange :

$$\frac{d}{dx}\left(\frac{\partial L}{\partial X'}\right) - \frac{\partial L}{\partial X} = 0, \qquad X = \frac{dX}{dx}, \tag{15}$$

atașată funcționalei :

$$S = \int_0^{+\infty} L\,(X(x), X'(x), x)\,dx \tag{16}$$

unde :

$$L(X(x), X'(x)\,x) = \frac{1}{2}X'^2 + \frac{2}{5}x^{-\frac{1}{2}}X^{\frac{5}{2}} \tag{17}$$

Cu alte cuvinte, funcția X(x), soluție a ecuației (14) face minimă funcționala S. Cerem acum funcției $\widetilde{X}(x)$ să satisfacă aceleași condiții și deter-

minăm valoarea parametrului α în aşa fel încît funcţionala S construită din $\mathbf{L}(\widetilde{\mathrm{X}}(x), \widetilde{\mathrm{X}}'(x), x)$ să fie minimă. În cele din urmă problema se reduce la găsirea minimului funcţiei :

$$\mathrm{f}(\alpha) \equiv \frac{\alpha}{4} + \frac{2}{5}\sqrt{\frac{2\pi}{5\alpha}}. \tag{18}$$

Un calcul direct ne conduce acum la următoarea valoare :

$$\alpha = \frac{2}{5}(4\pi)^{\frac{1}{3}} \cong 0{,}93 \tag{19}$$

adică la următoarea soluţie „optimă" a ecuaţiei (14) :

$$\widetilde{\mathrm{X}}(x) = \mathrm{e}^{-0{,}93x} \tag{20}$$

Revenind la relaţia de legătură dintre funcţia $\mathrm{X}(x)$ şi potenţialul $\varphi(r)$ şi la definiţia lui x vom scrie :

$$\varphi(r) = \frac{Ze}{4\pi\,\varepsilon_0\, r} \exp\left(-0{,}93\,\frac{r}{a}\right) \tag{21}$$

respectiv densitatea volumică de electroni din nor :

$$n(r) = \frac{8\pi}{3\,h^3}\left[\frac{mZe^2}{2\pi\,\varepsilon_0\, r} \exp\left(-0{,}93\,\frac{r}{a}\right)\right]^{3/2} \tag{22}$$

Din cele discutate mai sus rezultă că în modelul Thomas-Fermi atomul nu este mărginit din punct de vedere spaţial, el extinzîndu-se pînă la infinit. Calitativ acelaşi tip de rezultat (în sens probabilistic) ar fi furnizat şi de mecanica cuantică. O comparare cantitativă a rezultatelor furnizate de modelul Thomas-Fermi şi de exeperienţă arată că rezultatele modelului nu sînt aplicabile nici la distanţe prea mici şi nici la distanţe prea mari faţă de nucleu. Prin urmare rezultate cantitative rezonabil de bune sînt furnizate numai într-o regiune spaţială intermediară. Cu ajutorul expresiilor finale ale potenţialului şi densităţii de sarcină în modelul Thomas — Fermi, se poate calcula energia totală de ionizare a atomului cu Z electroni. Această energie, în baza teoremei virialului, este egală cu jumătate din energia electrostatică a sistemului de sarcini, adică :

$$\mathcal{E} = \frac{1}{4}\int \varphi(r)\,\rho(r)\,\mathrm{d}V = \pi\int_0^{+\infty} r^2\,\varphi(r)\,\rho(r)\,\mathrm{d}r \tag{23}$$

Calculul integralei şi estimarea numerică dau în final următorul rezultat :

$$\mathcal{E} = 20{,}8\ Z^{7/3}\ \mathrm{eV}. \tag{24}$$

Experimental se constată că valoarea energiei de ionizare totală este de $16\ Z^{7/3}$ eV. Avînd în vedere aproximaţiile făcute în cadrul modelului, concordanţa obţinută poate fi socotită ca bună.

Dacă vom defini drept rază a atomului cu Z electroni, raza sferei ce conţine $(Z-1)$ electroni, atunci din relaţia :

$$(Z-1) = 4\,\pi\int_0^R r^2\,n(r)\,\mathrm{d}r \tag{25}$$

va rezulta pentru R o valoare cuprinsă între 2.10^{-10} m şi 3.10^{-10} m, oricare ar fi numărul Z. Domeniul de extindere spaţială a atomului obţinut în acest fel este în bună concordanţă cu datele furnizate de mecanica cuantică, date confirmate de experienţă.

Prin luarea în considerare a interacţiunilor de schimb dintre electroni, modelul Thomas — Fermi a putut fi îmbunătăţit, aducîndu-se rezultatele teoretice la o mult mai bună concordanţă cu experienţa.

BIBLIOGRAFIE

1. *A. Messiah*, „Quantum Mechanics", vol. II, Cap. XIV, North-Holland Publishing Company. Amsterdam, 1962.
2. *L. D. Landau, E. M. Lifşiţ*, „Mecanica Cuantică", Cap. X, Editura Tehnică, Bucureşti, 1965.
3. *V. G. Levici*, „Introducere în Fizica Statistică", Cap. XVI, Editura Tehnică, Bucureşti, 1954.
4. *F. Constantinescu, E. Magyari*, „Mecanică Cuantică — Probleme", Cap. XI, Editura Tehnică, Bucureşti, 1968.
5. *Z. Gábos, O. Gherman*, „Termodinamica şi Fizica Statistică", Cap. IX, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1967.

CUM ARATĂ ORBITALA 1s ŞI CÎT ESTE DE MARE ATOMUL DE HIDROGEN

GAVRIL NIAC Universitatea Babeş-Bolyai, Cluj

Numeroase cărţi aflate pe piaţă sau în biblioteci, de la manuale de liceu la cursuri universitare, prezintă în mod greşit imaginea atomului, pe care ne-o oferă mecanica cuantică. Din această cauză considerăm utile unele precizări în această problemă. În cele ce urmează se va lua în discuţie starea fundamentală a atomului de hidrogen, urmînd ca alte aspecte să fie luate în considerare cu altă ocazie.

Mai întîi să arătăm în ce constau greşelile la care ne referim.

1. Se afirmă că densitatea de probabilitate de a găsi electronul este maximă la distanţa $r_1 = 0{,}53$ Å (raza Bohr). Această afirmaţie ia uneori forme grafice :

a) Se reprezintă norul electronic în secţiune, redînd printr-o mulţime de puncte repartiţia sarcinii electrice, sau a probabilităţii de întîlnire a electronului ; desimea punctelor, care reprezintă densitatea de probabilitate fiind cea mai mare la distanţa r_1 (Fig. 1.a)

b) Se reprezintă patratul funcţiei de undă $|\psi|^2$ în raport cu distanţa de la nucleu, r, sub forma unei curbe cu un maxim, la distanţa r_1 (Fig. 2a).

2. Se afirmă că diametrul atomului de hidrogen este de aproximativ 1 Å, adică raza lui se identifică cu raza Bohr a orbitei electronului în starea fundamentală.

În ce priveşte primul punct, greşala se datoreşte unei confuzii între „densitatea de probabilitate de a găsi electronul" — proporţională evident cu densitatea medie de sarcină electrică — şi „probabilitatea de a găsi electronul la distanţa r de nucleu". În primul caz se are deci în vedere probabilitatea de a găsi electronul în unitatea de volum în locul considerat, în timp ce în al doilea caz se calculează probabilitatea de a găsi electronul într-un strat sferic (de grosime unitară) aflat la distanţa r. Cu

alte cuvinte, primul termen reprezintă probabilitatea de a afla electronul într-un *punct bine determinat* al spațiului, în timp ce al doilea, reprezintă probabilitatea de a-l afla pe *o întreagă suprafață sferică de o rază dată.*

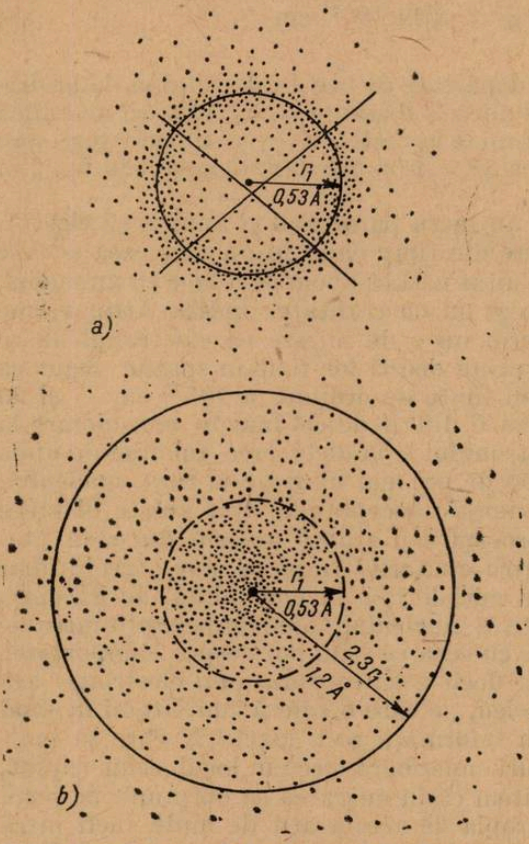


Fig. 1. Norul electronic 1s al atomului de hidrogen. a) Formă greșită, b) formă corectă. Conturul circular reprezintă o sferă care cuprinde 85% din norul electronic și care corespunde aproximativ mărimii și formei atomului de hidrogen așa cum rezultă din date experimentale.

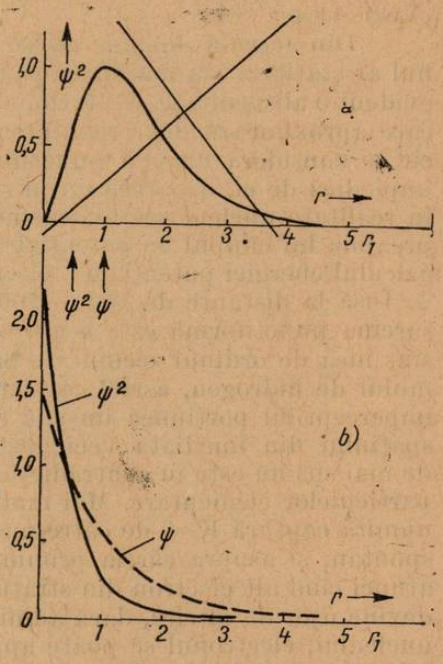


Fig. 2. Densitatea de probabilitate ψ-funcție de distanța r de la nucleu. a) Curbă greșită (reprezintă de fapt $r^2\psi^2$): b) curbă corectă, cu valoarea cea mai mare pentru $r = 0$.

Funcția de undă pentru starea fundamentală a atomului de hidrogen este: ([1] pag. 159)

$$\psi = \frac{1}{\sqrt{\pi}}\left(\frac{1}{r_1}\right)^{3/2} e^{-\rho/2} \qquad (1)$$

cu $\rho = 2r/r_1$.

Produsul dintre funcția de undă ψ și conjugata ei ψ^* (în care s-a înlocuit i cu $-i$) are semnificația unei densități de probabilitate. În cazul stării fundamentale în expresia lui ψ nu figurează i, ea nefiind o funcție imaginară, astfel că locul produsului $\psi\psi^*$ este luat de ψ^2. Această densitate de probabilitate va fi deci:

$$\psi^2 = \frac{1}{\pi}(1/r_1)^3 e^{-\rho} = \frac{1}{\pi}(1/r_1)^3 \exp(-2r/r_1) \qquad (2)$$

Datorită semnului negativ de la exponent, densitatea de probabilitate scade continuu cu distanța de la centru (nucleul considerat punctiform). Valoarea maximă a ei se află chiar în centrul atomului — pentru $r = 0$.

$$\psi^2_{r=0} = \frac{1}{\pi}(1/r_1)^3 = 2{,}14.10^{+24}\ \text{cm}^{-3} \qquad (3)$$

sau 2,14 pe $Å^3$. În puncte mai îndepărtate de centru densitatea de probabilitate scade, fiind de 7,4 ori mai mică la distanța r_1, de 54,6 ori mai mică la distanța $2r_1$, de 400 de ori mai mică la distanța $3r_1$ și tinzînd spre zero pentru r tinzînd spre infinit. Curba $\psi^2 = f(r)$ este redată corect în fig. 2.b. (Vezi [1]pg. 160).

Din această imagine reiese un lucru paradoxal și anume că electronul ar staționa cea mai mare parte din timp chiar în nucleu, ceea ce este evident o absurditate. Nu trebuie uitat însă că avem de-a face cu un model, care aproximează doar realitatea și nu cu realitatea însăși. Atîta vreme cît se consideră nucleul punctiform nu e de mirare că electronul nu se împiedică de el, deoarece un punct nu ocupă loc finit în spațiu. Sigur că în realitate nucleul are dimensiuni finite de ordinul a 10^{-13} cm — și în preajma lui cîmpul de potențial va fi diferit de cel luat în considerare la calculul energiei potențiale a electronului și la deducerea funcției de undă ψ. Însă la distanțe de 100 — 1000 de ori mai mari decît raza nucleului, sarcina punctiformă este o aproximație acceptabilă. Dar aceste distanțe sînt încă de ordinul zecimii de procent sau a unui procent din raza atomului de hidrogen, astfel că pentru abaterile amintite s-ar corecta doar imperceptibil porțiunea inițială a curbei 2.b. În consecință, cu excepția spațiului din imediata vecinătate a nucleului, modelul cuanto-mecanic de mai sus nu este în contradicție cu ceea ce știm noi despre comportarea particulelor elementare. Mai mult decît atît, captura unui electron — așa numita captură K — de către nucleu, pe care o suferă unii atomi în mod spontan, și asupra căreia primim informații prin razele X care se emit atunci cînd alt electron din straturi superioare trece în locul celui captat, devine ușor de înțeles, dacă admitem că în mișcarea sa obișnuită în jurul nucleului, electronul se poate apropia de acesta atît de mult, încît intră în bătaia forțelor nucleare de atracție.

Densitatea de probabilitate, sau densitatea electrică (medie în timp) a norului electronic (proporțională cu prima) se poate reprezenta grafic și în mod intuitiv, dacă ne imaginăm electronul ca un punct luminos (un beculeț), care este fotografiat la intervale *egale* de timp, o perioadă suficient de lungă. Fotografia astfel obținută ar conține puncte mai dese în zonele în care electronul s-a aflat mai des în mișcarea sa, adică în care probabilitatea de a-l întîni este mai mare; zonele cu puncte mai rare ar corespunde la o probabilitate mai mică de a întîlni electronul. Se vede numaidecît că densitatea punctelor măsoară densitatea de probabilitate. O astfel de reprezentare este redată în fig. 1.b. De fapt imaginea ar trebui redată în spațiu, de exemplu stereoscopic, dar și o secțiune plană sau o proiecție este satisfăcătoare.

Probabilitatea de a întîlni electronul într-un element de volum va fi dată de densitatea de probabilitate înmulțită cu elementul de volum:

$$dp = \psi^2 dv \qquad (4)$$

Dacă însă nu ne interesează locul din spațiu, ci numai distanța r de nucleu, atunci va trebui să însumăm toate elementele de volum care se așează

pe o suprafață sferică de rază r. Dacă dimensiunea radială a acestor elemente de volum este dr, atunci stratul sferic obținut prin însumarea lor va avea un volum de $4\pi r^2 dr$, prin urmare probabilitatea de a întîlni electronul în acest strat sferic va fi acest volum înmulțit cu densitatea de probabilitate ψ^2:

$$dP = w(r)\, dr = 4\pi r^2 \psi^2\, dr \qquad (5)$$

Funcția $w(r) = 4\pi r^2 \psi^2$ descrie distribuția probabilității cu distanța de la nucleu — într-un mod foarte asemănător cu funcția de distribuție a vitezelor a lui Maxwell-Boltzmann din teoria cinetică a gazelor. Din ecuația (5) se vede că $w(r)$ reprezintă probabilitatea de a întîlni electronul într-un interval de distanțe egal cu unitatea, situat la distanța r de nucleu. Într-un fel este tot o „densitate", doar că ea nu se raportează la unitatea de volum, ci la unitatea de distanță. De aceea se numește uneori și *densitate radială de probabilitate*. Această denumire poate da naștere la confuzii, se recomandă deci evitarea ei.

Funcția $w(r)$, fiind produsul a doi factori (funcții de distanță), dintre care unul crește cu patratul distanței ($4\pi r^2$), iar celălalt scade exponențial cu distanța, va prezenta un maxim la o anumită distanță, avînd valoarea zero atît la origine (cînd e nul r^2), cît și la distanța infinită (cînd e nul factorul exponențial), după cum arată figura 3. Această funcție

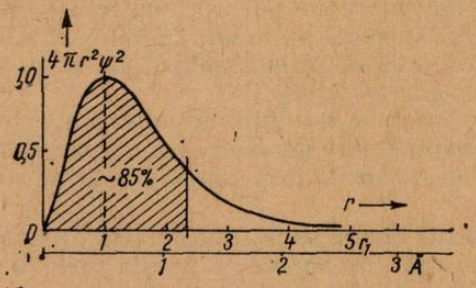


Fig. 3. Probabilitatea de a întîlni electronul într-un strat feric de grosime unitară, la distanța r, ca o funcție de r (w(r)).

depinde numai de o singură variabilă, distanța r, deci *nu poate fi reprezentată în spațiu*, fig. 3 fiind singura reprezentare posibilă. Încercările de a reprezenta această funcție prin desimea punctelor — așa cum s-a procedat în cazul densității de probabilitate ψ^2 — duc la figurile eronate de tipul celei din 1.a. Menționăm printre manualele în care s-a redat corect (cel puțin calitativ) norul electronic prin desimea punctelor, cele citate la sfîrșitul acestui articol: (1), (2) și (3).

Deoarece reprezentări de tipul celei din fig. 1.b sînt incomode, se obișnuiește să se redea forma norului electronic, numit pe scurt „orbitală", printr-un contur, care unește punctele de aceeași densitate de probabilitate, ales convenabil. În cazul stării fundamentale a atomului de hidrogen (și în general al atomilor hidrogenoizi = ionii care posedă un singur electron) liniile de contur vor fi în plan niște cercuri, iar în spațiu niște sfere. În general pentru a reprezenta și dimensiunea atomului se trasează un contur, care corespunde unei sfere astfel alese încît să cuprindă în interiorul ei cea mai mare parte a norului electronic, sau ceea ce este același lucru, cea mai mare parte a sarcinii electrice a electronului, calculată ca o medie

în timp. În mod uzual se alege o sferă, care conține 85 — 90% din sarcina electronului (iarăși ca o medie în timp).

Distanța r_1, egală cu raza orbitei din modelul atomic al lui Bohr, are pentru hidrogen valoarea de 0,53Å, și reprezintă distanța la care se întîlnește electronul cu cea mai mare probabilitate. Această distanță își păstrează deci o semnificație fizică și în modelul cuanto-mecanic al atomului și deseori se ia ca unitate atomică de lungime. Distanțele de la nucleu, razele și diametrele atomice și moleculare se exprimă deseori în raze Bohr — sau unități atomice — în loc de Å sau cm.

Cea de-a doua greșală pe care am semnalat-o la început, identificarea razei Bohr cu raza atomului, este de fapt un atavism prin care se manifestă concepții înrădăcinate din modelul atomic al lui Bohr. La acest model electronul se considera mișcîndu-se pe o orbită circulară fixă. Raza acestei orbite putea fi considerată automat și raza atomului. Trebuie subliniat însă de la început, că raza atomului de hidrogen dată de teoria lui Bohr nu corespunde cu raza atomului determinată experimental din experiențe de ciocnire, din vîscozitatea gazelor sau din ecuația lui Van der Waals, decît ca ordin de mărime. In tabela 1 s-au trecut diametrele unor atomi calculate din date vîscozimetrice la diferite temperaturi și din parametrii critici. Se vede că atomul de hidrogen are o rază de circa 1,2 Å, adică de vreo 2,3 raze Bohr. În plus raza nu este absolut constantă, ci scade cu temperatura, arătînd că atomii care se mișcă mai rapid, adică au energie cinetică mai mare, se pot apropia mai mult. Se poate urmări foarte bine acest lucru în cazul atomului de heliu, al cărui studiu se poate face deosebit de facil, molecula fiind monoatomică. Același lucru se poate spune despre toate gazele nobile.

Raza Van der Waals a atomului de hidrogen, calculată din comportarea moleculelor organice, are de asemenea valoarea 1,2Å ([1], pg. 385). Studii de difracție a razelor X prin rețele cristaline duc de asemenea la această valoare.

În fig. 3, raportul dintre suprafața închisă de curba $w(r)$, abscisă și o verticală la o distanță r, și suprafața totală închisă între curbă și abscisă, este egal cu fracțiunea sarcinii electrice a norului electronic (sau a orbitalei) cuprinsă în interiorul sferei de rază r. Se vede că suprafața de sub curbă pînă la verticala în r_1 este mai puțin de jumătate din suprafața totală, deci sfera cu raza r_1 (raza Bohr), conține mai puțin de jumătate din

Diametre atomice calculate din vîscozitate la diferite temperaturi (δ_T) și din parametri critici (δ_{cr}), în Å.

Tabel nr. 1

Substanța	δ_T (T° K),	δ_T (T°K)	δ_T (R°K)	δ_∞	δ_{cr}
He	2,6(20)	2,2(273)	2,1(555)	1,82	2,7
Ne	2,7(195)	2,6(293)	2,7(558)	2,25	2,4
Ar	4,7(90)	3,7(373)	3,3(575)	2,99	3,0
Kr	4,2(273)	4,0(375)	—	3,22	3,2
Xe	4,9(273)	4,6(373)	4,3(550)	3,55	3,5
H	2,52(273)	2,48(373)	—	2,39	
Zn	3,3(876)	3,2(950)		2,32	
Hg	4,25(491)	4,1(574)	3,9(694)	2,51	2,39

sarcina norului electronic. Raza Bohr nu poate reprezenta deci raza atomului (sau a norului electronic).

Pentru a vedea mai clar cum se distribuie sarcina norului s-a calculat probabilitatea matematică de a găsi electronul în interiorul unei sfere de rază r, ceea ce este același lucru cu a afla fracțiunea de sarcină din interiorul sferei de rază r, pentru mai multe valori ale razei r. Aceasta revine la a integra între 0 și r ecuația (5):

$$P = 4\pi\int_0^r \psi^2 r^2 \, dr = 1 - \left(1 + \frac{2r}{r_1} + \frac{2r^2}{r_1^2}\right) \exp\left(-\frac{2r}{r_1}\right) \qquad (6)$$

Valorile lui P au fost trecute alături de cele ale lui ψ, ψ^2 și w în tabela 2. Se vede că pentru $r = r_1$, P este numai 0,325, adică 32,5%. În schimb pentru $r = 2,3\, r_1$, adică circa 1, 2 Å, sfera cuprinde în interiorul ei circa 85% din sarcină, sau avem o șansă de 85% de a întîlni electronul în interiorul sferei. Se vede deci că linia de contur, care corespunde unui conținut de 85% din sarcina norului, reprezintă și limitele atomului așa cum se manifestă el în cursul ciocnirilor și în același timp și volumul ocupat efectiv de atom. În consecință acest contur cu raza de 1,2Å, satisface cerințele teoretice, cuprinzînd practic tot norul electronic, și cele experimentale, fiind în concordanță cu datele obținute din diferitele măsurători (vîscozitate, parametri critici, difracția razelor X).

Din cele de mai sus reiese că raza atomului de hidrogen în starea fundamentală nu este 0,53Å, ci 1,2 Å, prima valoare avînd o semnificație fizică mai puțin intuitivă și mai puțin utilă la predarea primelor noțiuni despre structura atomului. Rolul pe care îl joacă raza Bohr r_1, în descrierea norului electronic este un rol matematic, asemănător cu acela jucat de viteza cea mai probabilă în distribuția vitezelor cu care se mișcă moleculele unui gaz, la o temperatură dată.

Greșelile asupra cărora ne-am oprit sînt cu atît mai periculoase, cu cît au pătruns în manuale elementare de chimie, care se adresează unui larg cerc de cititori, răspîndind astfel cu multă eficiență o imagine eronată asupra atomilor. Rădăcinile acestor greșeli sînt ascunse în creditul exagerat pe care unii autori îl acordă modelelor, mergînd pînă la confundarea lor cu realitatea, și în lipsa de atenție care se acordă în schimb faptelor experimentale, de obicei mai seci și mai puțin spectaculoase decît deducțiile matematice în care se îmbracă modelele. Astfel se face că, furați de frumusețea și eleganța modelului atomic al lui Bohr, nu mai sîntem în stare să redăm corect nici imaginea oferită de un model mai complicat, cum ar fi cel cuanto-mecanic, căutînd o apropiere de modelul lui Bohr sub forma unor figuri ca 1.a, și nu mai avem nici ținerea de minte a unor fapte experimentale, cum ar fi determinarea diametrelor moleculare și atomice, care, fie că se efectuează cu mijloacele secolului trecut (vîscozitate), fie că se abordează cu tehnica ultimului deceniu, (cum ar fi micrograful ionic de cîmp) duc la același rezultat cu privire la raza atomului. Ca ceva ereditar, raza Bohr continuă să fie considerată ca raza atomului de hidrogen de către un însemnat număr de autori și de un impresionant număr de cititori.

Cu toată durerea că trebuie să ne despărțim de un model atît de ingenios ca cel al lui Bohr, se pare că nu este altă ieșire decît să acceptăm faptele experimentale și rezultatele unor teorii mai avansate, ambele convergînd spre o rază de 1,2 Å, și spre un atom cu densitatea maximă de sarcină negativă în apropierea nucleului.

Valorile funcției de undă ψ, a densității de probabilitate ψ^2, a funcției $w(r)$ (probabilitatea de a găsi electronul într-un strat sferic unitar la distanța r) și a funcției P (probabilitatea de a găsi electronul în interiorul unei sfere de rază r) pentru diferite raze.

Tabel Nr. 2

r_0 în Å	r în raze Bohr (r_1)	ψ în $Å^{-3/2}$	ψ^2 în $Å^{-3}$	$4\pi\psi^2 r^2$ în $Å^{-1}$	P în %
0,0	0,0	1,46	2,14	0,0	0,0
0,27	0,5	0,886	0,783	0,69	8,0
0,53	1,0	0,537	0,288	1,01	32,5
0,80	1,5	0,326	0,106	0,85	57,6
1,06	2,0	0,197	0,039	0,55	76,2
1,22	2,3	0,146	0,0213	0,40	83,7
1,32	2,5	0,120	0,0144	0,32	87,6
1,59	3,0	0,073	0,0053	0,17	93,8

BIBLIOGRAFIE

1. *I. Cădariu*, Chimie fizică, vol. I, Ed. Tehnică, București, 1967
2. *C. Macarovici, D. Petrescu*, Chimie generală, Ed. Didactică și Pedagogică, București 1968, pg. 58
3. *G. Niac*, Chimie fizică, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1966, pg. 70—71.

SPECTROFOTOMETRIA DE ABSORBȚIE ÎN ULTRAVIOLET ȘI VIZIBIL CA METODĂ DE CERCETARE ȘTIINȚIFICĂ

EDITH ROTHBÄCHER, H. ROTHBÄCHER Inst. Polit. Brașov

Introducere

În comparație cu metodele de cercetare spectroscopice cele mai tinere, cum ar fi cea de rezonanță nucleară, spectroscopia în ultraviolet este cunoscută de la începutul secolului nostru și se pare că în aparatura de măsurare s-a ajuns în decursul deceniilor la o perfecționare considerabilă și s-a strîns un material imens.

Spectrofotometrele moderne, într-adevăr, sînt cel puțin cu un ordin de mărime mai ieftine decît aparatura necesară rezonanței nucleare sau spectrometrele de masă și se găsesc astăzi aproape în fiecare laborator de cercetări de chimie. Din păcate însă trebuie să se recurgă și astăzi în interpretarea spectrelor la anumite reguli experimentale. Abia de aproximativ zece ani, de cînd ne stau la dispoziție calculatoarele electronice, spectrele UV ale moleculelor organice au putut fi interpretate pe baze teoretice. Din cauza aceasta problema a devenit din nou actuală și interesantă din punct de vedere teoretic. Folosul spectroscopiei UV din punct de vedere

practic însă, constă şi acum în faptul că se pot obţine date asupra structurii moleculare cu ajutorul unor reguli empirice sau să se facă analize cantitative cu ajutorul unei metode de măsurare speciale.

Domeniul de aplicabilitate este destul de restrîns, însă în cadrul acestuia spectroscopia UV răspunde rapid, simplu şi, în cazul unor probleme cantitative, cu o exactitate foarte mare.

Bazele teoretice

Într-un sistem atomic tranziţia de pe un nivel de energie oarecare pe un nivel superior oarecare corespunde unei creşteri a energiei sistemului atomic, absorbţiei unui foton. Fiecare tranziţie este caracterizată pe lîngă frecvenţa tranziţiei $\nu = \frac{\Delta E}{h}$ şi prin probabilitatea tranziţiei. Totalitatea tranziţiilor radiative de pe nivelele inferioare pe nivelele superioare constituie un spectru de absorbţie. Spectrul de absorbţie al unui sistem atomic dat, observat în anumite condiţii, este caracterizat atît prin totalitatea valorilor frecvenţelor liniilor sau bandelor spectrale, cît şi prin distribuţia intensităţilor. Intensităţile în spectru depind de probabilitatea diferitelor tranziţii şi de populările diverselor nivele de energie, în special a nivelelor inferioare. Populările nivelelor şi aspectul spectrelor depind în primul rînd de faptul, dacă există sau nu echilibru termodinamic. Pentru o substanţă aflată în stare de echilibru termodinamic populaţia nivelelor descreşte odată cu creşterea energiei lor, în conformitate cu legea lui Maxwell — Boltzmann (1):

$$n_j = g_j \cdot n_o \cdot A \cdot e^{-\frac{E_j}{kT}}$$

Populaţia nivelului (n_j) este proporţională cu numărul total de particule (n_0), ponderea statistică (g_j) a nivelului, un factor (A), care este acelaşi pentru toate nivelele şi care depinde doar de temperatura absolută (T) şi cu factorul $e^{-\frac{E_j}{kT}}$. Pentru o temperatură suficient de joasă, practic este populat numai nivelul fundamental şi este posibilă doar absorbţia de pe nivelul fundamental, iar emisia lipseşte cu desăvîrşire.

Spectrele de absorbţie se studiază de obicei la o temperatură la care, în substanţa cercetată, are loc echilibrul termic. Limitîndu-se la spectrofotometria de absorbţie în ultraviolet şi vizibil a substanţelor, consideraţiile care urmează se referă la spectre moleculare electronice, la care, datorită stării electronice, structura de rotaţie nu mai apare, iar cea de vibraţie se manifestă numai în anumite cazuri printr-o structurare a bandelor de absorbţie, care în general sînt largi şi niciodată rezolvate în linii. Bandele de absorbţie din aceste domenii spectrale corespund la tranziţii de pe nivelul electronic fundamental pe cele mai joase nivele electronice ale sistemelor atomice excitate, pentru care tranziţiile sînt permise, conform regulilor de selecţie. La excitarea pe aceste nivele participă electronii caracteristici anumitor particularităţi structurale ale moleculei, numite *cromofori*. În cazul moleculelor de substanţe organice aceste particularităţi structurale sînt: legătura simplă, legătura dublă (sau triplă), gruparea bazică (caracterizată printr-o pereche de electroni neparticipanţi) etc. În tabela 1 se indică lungimile de undă aproximative, caracteristice

cîtorva cromofori izolaţi sau influenţîndu-se reciproc (ca de exemplu în cazul benzenului) şi coeficienţii de extincţie respectivi (2).

Tabela 1

Cromoforul	λ (mμ)	ε	Cromoforul	λ (mμ)	ε
$-C=C-$	180 — 190	10 000	$-OH$	186	—
$-C\equiv C-$	175 — 215	—	$-N=N-$	345	5
$R-C(=O)-R'$	270	15—30	benzen	268 200	200 8 000
$R-CH=O$	290	10—20	naftalină	315 275	250 5 000
$R-C(=O)-OH$	205	40—60	antracen	360 250	6 000 150 000

În fig. 1 sînt reprezentate curbele de absorbţie în ultraviolet. pentru benzen (I), naftalină (II) şi antracen (III), în hexan (7).

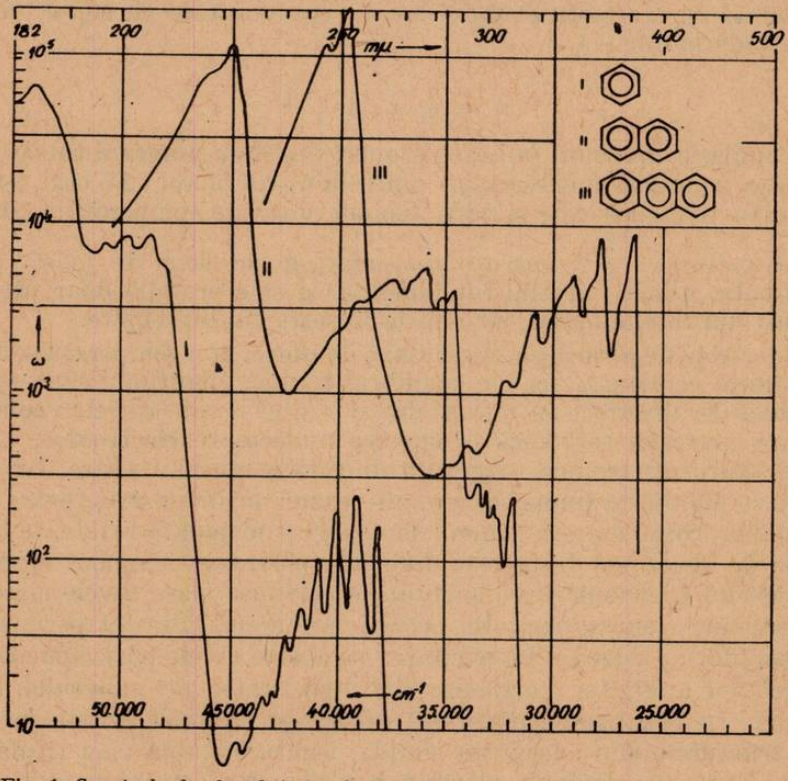


Fig. 1. Spectrele de absorbţie în ultraviolet pentru benzen (I), naftalină (II) şi antracen (III), în hexan.

Spectrul de absorbție atribuit unui singur cromofor însă, poate suferi modificări din cauza interacțiunii cromoforilor între ei sau cu alte grupări. Acestea pot consta în deplasarea maximului de absorbție spre lungimi de undă mai mari (efect batocromic), spre lungimi de undă mai mici (efect hipsocromic), intensificarea absorbției (efect hipercromic) sau micșorarea ei (efect hipocromic) (3). În fig. 2 sînt reprezentate curbele de absorbție ale unor poliene (4). Se constată că odată cu creșterea numărului de duble legături conjugate, maximele de absorbție se intensifică și se deplasează din ultravioletul îndepărtat spre vizibil.

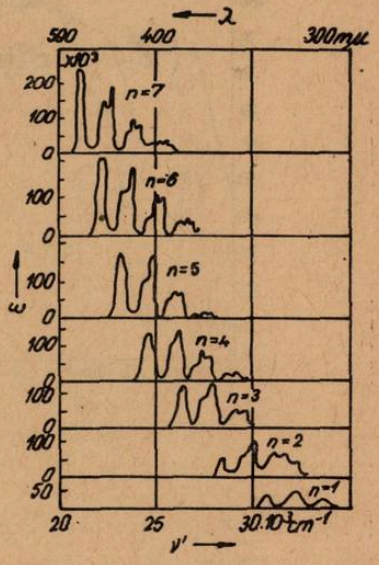


Fig. 2. Spectrelede absorbție pentru difenilpoliene în eter alcool, —196°C.

Dacă mediul absorbant prin care trece lumina este transparent slăbirea intensității luminoase respectă legea lui Bougouer — Lambert:

$$I = I_0 \cdot e^{-\alpha x}$$

parametrul α fiind *coeficientul de absorbție* al substanței considerate. De obicei legea apare scrisă în baza 10:

$$I = I_0 \cdot 10^{-\beta x}$$

unde constanta β se numește *coeficient de extincție* al substanței. Dacă substanța străbătută se află în stare gazoasă sau dizolvată, coeficintul de extincție va fi proporțional cu concentrația substanței în faza respectivă. În legea lui Lambert — Beer:

$$I = I_0 \cdot 10^{-\varepsilon c x}$$

constanta ε se numește *coeficient de extincție molar decadic*, concentrația substanței fiind exprimată în mol/l, iar grosimea stratului absorbant în cm.

Se introduce noțiunea de *extincție*, E, definită prin cologaritmul transparenței $\left(T = \frac{I}{I_0}\right)$:

$$E = -\lg \frac{I}{I_0} = \lg \frac{I_0}{I}$$

Pentru soluții ea are valoarea:

$$E = \varepsilon c d$$

Dacă într-o soluție sînt două sau mai multe specii moleculare care nu interacționează între ele, extincția mediului este egală cu suma extincțiilor parțiale corespunzătoare fiecărei specii moleculare:

$$E = E_1 + E_2 + \ldots + E_n = \varepsilon_1 c_1 x_1 + \varepsilon_2 c_2 x_2 + \ldots + \varepsilon_n c_n x_n$$

Această proprietate de aditivitate a extincțiilor este fundamentală în aplicațiile spectrofotometriei de absorbție.

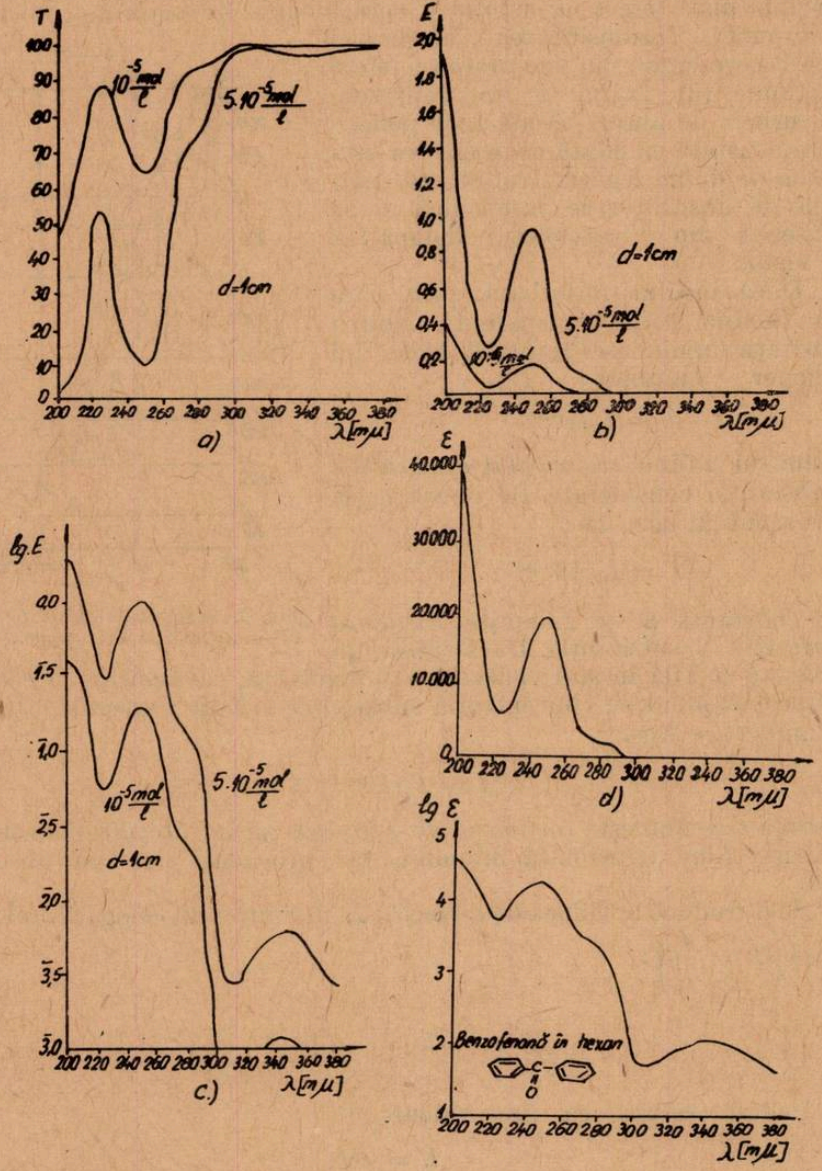


Fig. 3. Curbele de absorbție în ultraviolet pentru benzo-fenonă în hexan la diferite concentrații în mol/l folosind diferite moduri de reprezentare: (a) transmisia T, (b) extincția E, (c) lg E, (d) coeficientul molar de extincție ε și (e) lg ε.

Coeficientul de extincție depinde foarte mult nu numai de natura substanței, dar și de calitatea radiației utilizate. De aceea determinările trebuiesc făcute în lumină monocromatică.

Extincția unei soluții se determină comparînd intensitatea transmisă de aceasta cu intensitatea transmisă de solventul pur, spre a elimina absorbția acestuia, ultima fiind slăbită printr-un procedeu convenabil pînă ce se realizează egalitatea ambelor intensități. În aparatele moderne cu fotocelulă, cei doi curenți fotoelectrici înregistrați sînt opuși unul altuia și citirea absorbției se face în momentul cînd ei se compensează exact. Variind frecvența luminii utilizate se poate vedea cum depinde extincția de frecvență în tot domeniul care interesează, spre a decela variații bruște, care semnalează apariția benzilor sau liniilor de absorbție.

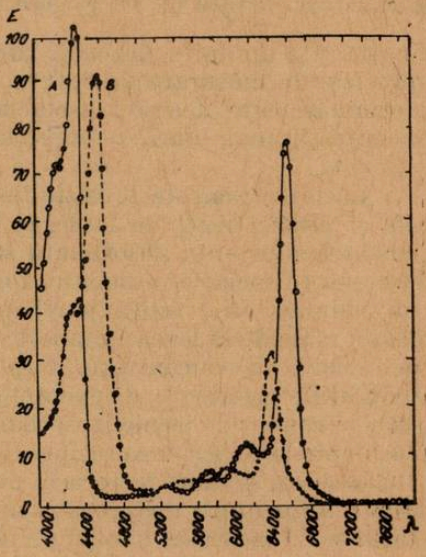


Fig. 4. Spectrul de absorbție al clorofilei A și B.

Rezultatele experimentale se exprimă sub forma unor curbe de absorbție, reprezentînd grafic transparența $T = \frac{I}{I_0}$, extincția $E = \varepsilon c d$ sau coeficientul de extincție molar decadic ε, în funcție de un parametru spectral (lungimea de undă λ; numărul de undă $\tilde{\nu}$; frecvența ν).

Pentru identificarea speciilor moleculare se folosește reprezentarea $\lg E = f(\lambda)$, deoarece forma acestei curbe nu depinde de concentrația sau grosimea stratului absorbant. Pentru foarte multe substanțe organice coeficientul de extincție molar decadic variază în limite largi ($0 < \varepsilon < 10^5$) în domeniile vizibil și ultraviolet, ceea ce face convenabilă reprezentarea în $\lg \varepsilon = f(\lambda)$.

Pentru a putea compara diferitele moduri de reprezentare, în fig. 3 sînt trasate curbele de absorbție în ultraviolet pentru benzofenonă în hexan, la diferite concentrații în $\frac{\text{mol}}{\text{l}}$ (2).

În fig. 4 s-a reprezentat extincția celor două clorofile A și B, în domeniul vizibil (4). Aceste două substanțe prezintă cîte două benzi asemănătoare de absorbție, dar după intensitatea și poziția acestora cele două substanțe pot fi identificate una în prezența celeilalte.

Cauze de erori

a) *Influența concentrației.* La aplicarea legii lui Lambert — Beer trebuie să luăm în considerare faptul că aceasta este o lege care se aplică numai la soluții foarte diluate. După teoria dispersiei, nu coeficientul de extincție molar decadic ε ca atare, ci refracția molară A, este o mărime independentă de concentrație:

$$A = \varepsilon \cdot \frac{n}{(n^2 + 2)^2}$$

mărimea n fiind indicele de refracție al mediului pentru lumina monocromatică folosită. În cele mai multe cazuri însă indicele de refracție crește odată cu concentrația, deci $\frac{n}{(n^2+2)^2}$ scade, ceea ce implică o creștere a coeficientului de extincție pentru ca refracția molară A să rămînă constantă. Se constată (5) că pentru concentrații $c < 10^{-2}\frac{\text{mol}}{\text{l}}$, abaterile de la constanța ale lui ε, datorită variației indicelui de refracție nu depășesc o precizie de măsurare de 0,01%, decît în cazuri extrem de rare. Pentru determinări care necesită asemenea precizie, trebuie să se introducă la concentrații mai mari, o corecție pentru indicele de refracție: $\Delta n = f(\lambda, c)$.

La orice grad de precizie însă pot apărea așa numitele *abateri aparente* și *abateri reale* de la legea lui Lambert — Beer. Abateri aparente apar dacă substanța absorbantă suferă schimbări chimice la variația concentrației (disociație, asociație, formarea sau descompunerea unei combinații chimice etc.) adică participă la echilibrul în soluția de cercetat. Abateri reale de la legea Lambert — Beer apar dacă coeficientul de extincție variază cu concentrația. Faptul că absorbția unei substanțe depinde de condițiile exterioare, de exemplu de solventul folosit, înseamnă că repartiția electronilor moleculei absorbante, hotărîtoare pentru energia de excitație, depinde de acțiunea reciprocă cu moleculele învecinate. Dacă se perturbă această acțiune reciprocă, de exemplu dacă cu mărirea concentrației apare o influențare reciprocă a moleculelor absorbante, se poate schimba poziția și intensitatea bandei de absorbție, iar coeficientul de extincție la o anumită lungime de undă devine o funcție de concentrație: $\varepsilon = f(c)$.

b) *Influența luminii nemonocromatice.* O abatere aparentă de la legea lui Lambert-Beer poate apărea dacă lumina folosită nu este suficient de monocromatică, influență care de obicei se subapreciază.

Din motive tehnice, chiar cu ajutorul aparatelor moderne, nu este posibil a se obține lumină absolut monocromatică. În cazul fotometrelor cu filtru lipsa de monocromaticitate poate schimba apreciabil forma curbei de absorbție a unei substanțe, iar în cazul spectrofotometrelor, radiația ar fi riguros monocromatică numai dacă fanta de intrare și de ieșire ale aparatului spectral ar fi infinit de înguste admițînd în plus, că ar fi înlăturată orice cauză de producere a luminii parazitare și că spectrul ar consta din imagini monocromatice ale fantei. Pentru ca energia radiantă recepționată să fie suficientă este nevoie să se lucreze cu fante cu deschideri finite. La aparatele spectrale, în care obiectivele colimator și de focalizare au distanțe focale egale, este judicios să se lucreze cu fante de intrare și ieșire cu lărgime egală. Folosind o sursă luminoasă care dă un spectru continuu, se va obține, cu ajutorul unui monocromator cu fante de intare și de ieșire egale, un fascicol de lumină a cărui curbă de distribuție a energiei radiante are forma unui triunghi al cărui vîrf corespunde lungimii de undă de măsurare λ_0 (fig. 5a).

Domeniul spectral corespunzător lățimii semivalorii energiei radiante primite de fanta de ieșire, este caracterizat de *lărgimea spectrală*: $s = \Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$. Practic λ_1 și λ_2 sînt lungimile de undă ale radiațiilor care dau imagini ale fantei de intrare, ce acoperă cîte o jumătate a fantei de ieșire (fig. 5 b). Cu creșterea dispersiei $\Delta n/\Delta\lambda$, se micșorează lărgimea spectrală, la aceeași deschidere a fantei de ieșire, deoarece imaginile fantei de intrare date de radiațiile de lungime de undă λ_1 și λ_2, se depărtează

(fig. 5c) una față de cealaltă, iar diferența lungimilor de undă care formează în cazul acesta lărgimea spectrală va fi mai mică ($\lambda_4 - \lambda_3$). Aceasta înseamnă o monocromatizare mai mare a fascicolului emergent. Dacă se folosește pentru dispersia luminii o prismă cu indicele de refracție n și unghiul de

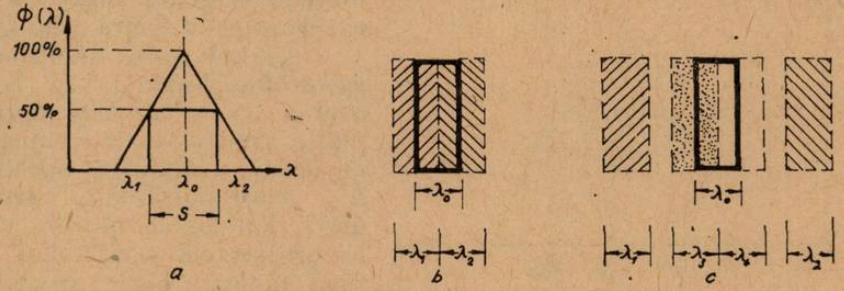


Fig. 5. Lărgimea spectrală:
(a) Variația lărgimii spectrale cu dispersia prismelor la aceeași deschidere a fantelor monocromatorului (b — dispersie mică; c — dispersie mai mare).

refringență $\hat{A}$, iar deschiderea reală a fantei este b și distanța focală a oglinzii este f, lărgimea spectrală va fi o funcție de forma:

$$s = \frac{\sqrt{1 - n^2 \cdot \sin^2 \hat{A}}}{2 \cdot \sin \frac{\hat{A}}{2} \cdot \frac{\Delta n}{\Delta \lambda}} \cdot \frac{b}{f}$$

Din variația lărgimii spectrale pentru diferite prisme se constată că în domeniul vizibil este avantajos să se folosească o prismă de sticlă, iar în domeniul UV o prismă de sare gemă.

Fig. 6 a, b, c încearcă să sugereze faptul că deschiderea fantelor de intrare și de ieșire trebuie să fie aceeași pentru a obține un fascicol luminos de intensitate maximă posibilă, la o puritate de spectru dată. Dacă

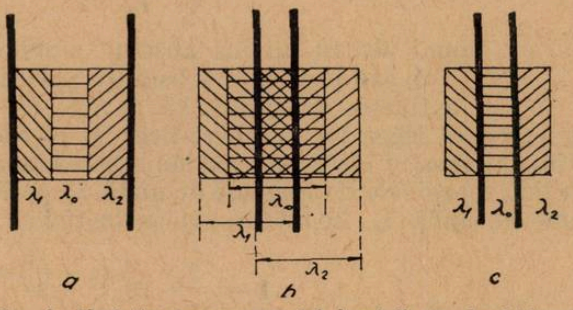


Fig. 6. Variația monocromaziei luminii cu deschiderea fantelor monocromatorului:
a — fantă de eșire cu deschidere mai mare
b — fantă de eșire cu deschidere mai mică
c — fante cu deschidere egală și foarte mică

fanta de ieșire are o deschidere mai mare decît fanta de intrare ea lasă să treacă pe lîngă radiația de lungime λ_0 și radiațiile cu lungimile de undă λ_1 și λ_2 (fig. 6a) cu aceeași intensitate. Distribuția energiei radiante va avea forma arătată în fig. 7

Fig. 6 b ilustrează cazul unei fante de intrare largi, cuplate cu o fantă de ieşire îngustă. Ingustarea fantei de ieşire este inutilă deoarece ea conduce doar la slăbirea fluxului luminos transmis fără a contribui la mărirea purităţii spectrale a radiaţiei emergente. Fig. 6 c arată cazul optim de fixare a fantelor.

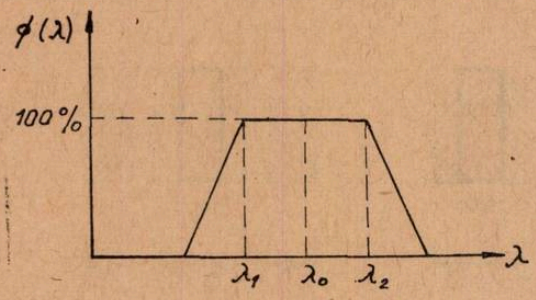


Fig. 7. Distribuţia energiei radiaţiei emergente în cazul unei fante de eşire mai largi decît ianta de intrare.

Ţinînd seama de dispersia spectrofotometrului, se poate evalua cu o oarecare aproximaţie pentru fiecare lungime de undă, lărgimea spectrală $\Delta\lambda$, corespunzătoare deschiderii fantelor b, aceste date în prospectele aparatelor. La fiind indicate unele spectrofotometre lărgimea fantelor este reglată automat pentru a se menţine valori $\Delta\lambda$ constante în tot lungul spectrului.

Pentru lumina policromatică de lungimi de undă $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_n$ extincţia produsă de o anumită substanţă absorbantă va fi determinată de coeficienţii de extincţie $\varepsilon_0, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \ldots \varepsilon_n$ şi raportul intensităţilor $\frac{I_1}{I_0}, \frac{I_2}{I_0}, \ldots, \frac{I_n}{I_0}$. La trecerea prin stratul absorbant diferitele componente ale luminii vor suferi absorbţii de mărimi diferite, ceea ce duce la variaţia coeficientului de extincţie mediu. Dacă lumina de lungime de undă λ_0, predomină, se poate scrie pentru extincţie expresia:

$$E = \varepsilon.c.d. = E_0 + \lg \frac{1 + \sum_1^n \frac{I_n}{I_0}}{1 + \sum_1^n \frac{I_n}{I_0} \cdot 10^{(\varepsilon_0 - \varepsilon_n)cd}}$$

din care rezultă, că numai pentru lumină absolut monocromatică ($I_1 = I_2 = I_3 = \ldots = I_n = 0$) sau pentru o substanţă perfect cenuşie ($\varepsilon_0 = \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \ldots = \varepsilon_n$) extincţia măsurată va fi $E = E_0$. În toate celelalte cazuri s-ar părea că legea lui Lambert-Beer îşi pierde valabilitatea. Ordinul de mărime al acestui efect este dat de eroarea relativă introdusă de apariţia unei linii marginale de lungime de undă λ_1, pe lîngă linia principală de lungime de undă λ_0, în măsurarea extincţiei:

$$f = \frac{E_0 - E}{E_0} = \frac{1}{E_0} \cdot \lg \frac{1 + \frac{I_1}{I_0} \cdot 10^{\varepsilon_0 \left(1 - \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}\right) cd}}{1 + \frac{I_1}{I_0}}$$

În fig. 8 s-a reprezentat eroarea relativă pentru un raport $\frac{I_1}{I_0} = 0{,}6\%$, (care se poate obţine practic) şi pentru diferite valori $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_0}$, în funcţie de

extincţia măsurată E. Curbele arată cît de mare poate să devină eroarea la extincţii mari şi valori mici pentru $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_0}$, chiar dacă lumina pare a fi monocromatică, deoarece conţine numai 0,6% din lumină de altă lungime de undă.

Din această cauză practic trebuie să se lucreze la extincţii constante, adică la produs $c.d = \text{const.}$

Fenomenele amintite, care provoacă abateri de la legea lui Lambert -Beer: a) variaţia indicelui de refracţie cu concentraţia; b) schimbarea echilibrului la variaţia concentraţiei; c) acţiunea reciprocă a moleculelor absorbante sau interacţiunea lor cu eventuale impurităţi; d) monocromatizarea insuficientă a luminii, au importanţă diferită la folosirea diverselor metode de măsurări absolute sau relative. De aceea influenţa lor trebue cercetată de la caz la caz chiar dacă s-a ales o metodă şi o aparatură care garantează pentru sensibilitatea, reproductibilitatea, exactitatea şi precizia măsurătorii.

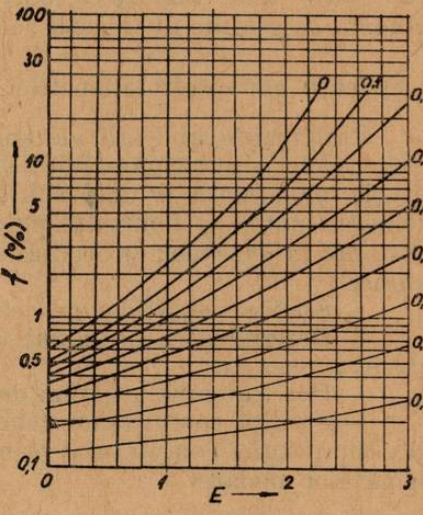


Fig. 8. Variaţia erorii relative $f = \frac{\Delta E}{E_0}$ $\left(\frac{I_1}{I_0} = 0{,}6\%\right)$ în funcţie de extincţia măsurată E pentru diferite valori ε_1 ε_0

c) *Erori generale.* Variaţii de temperatură pot duce, ca şi introducerea de molecule străine, la schimbarea intensităţii, formei şi poziţiei benzilor de absorbţie; iar sensibilitatea la variaţii de temperatură poate să se schimbe chiar de la o bandă la alta, în cadrul spectrului de absorbţie al unei anumite substanţe.

Astfel pentru ca măsurătorile să fie reproductibile trebuie să se lucreze la temperatură constantă ($\Delta\ T_{max} = \pm 1°C$)

De asemenea cele mai mici cantităţi de impurităţi atît în substanţa de cercetat cît şi în solvent produc abateri. Deseori substanţe „chimic pure" mai trebuiesc purificate pînă la „constanţă optică", deoarece în determinări de mare precizie chiar constantele fizice cum sînt punctul de fierbere, punctul de topire, constanta dielectrică etc. nu sînt un criteriu referitor la puritatea substanţei. De ex. alcoolul obişnuit 96% este transparent pînă în ultravioletul îndepărtat pe cînd alcoolul de 99,8%, dacă a fost distilat cu benzen pentru deshidratare, absoarbe deja în ultravioletul mijlociu.

Erori apreciabile pot fi introduse şi prin lumina difuzată datorită imperfecţiunii optice a suprafeţelor pe care cade lumina (urmele de impurităţi, ca şi depuneri pe pereţii cuvelor a unor straturi monomoleculare care nu dispar prin simpla spălare cu solventul respectiv).

Dacă se trasează curba de absorbţie a unei soluţii fluorescente, rezultatele pot fi eronate prin faptul că pe lîngă radiaţia monocromatică ce a străbătut proba, mai pătrund în receptor şi radiaţii cu alte lungimi de undă, emise de substanţa fluorescentă.

Dintre factori mai esenţiali care pot influenţa spectrul de absorbţie al unei substanţe se pot enumera : a) natura solventului ; b) valoarea pH-ului soluţiei ; c) concentraţia soluţiei ; d) temperatura soluţiei ; e) iradierea substanţei, dacă este sensibilă la lumină ; f) formarea de complecşi (la urme foarte mici chiar de cationi) ; g) fenomene de oxidare care au loc în prezenţa oxigenului din soluţie ; h) fenomene de hidroliză.

Aplicaţii ale spectrofotometriei de absorbţie în vizibil şi ultraviolet.

Principalele aplicaţii ale spectrofotometriei de absorbţie în vizibil şi ultraviolet sînt următoarele : a) Obţinerea de informaţii privind constituţia moleculară a unei substanţe complexe ; b) Identificarea unei substanţe pure ; c) Controlul purităţii unei substanţe ; d) Dozarea unor substanţe în amestec ; e) Studiul spectrofotometric al unor procese fizico-chimice :

— Studiul condiţiilor de echilibru în funcţie de un parametru dat.

— Determinarea ordinului unei reacţii chimice şi a constantei de viteză a reacţiei.

— Determinarea gradului de polimerizare.

— Studiul complecşilor (energia de formare a complexului, stabilirea compoziţiei complexului prin metoda variaţiei continue sau metoda rapoartelor molare).

BIBLIOGRAFIE

(1) *Eliaşevici M.A.* : „Spectroscopia atomică şi moleculară". Ed. acad. R.S.R. Buc. 1966 trad. lb. rusă), pag. 144

(2) *Ţiţeica R., Giurgea M.*, etc. : „Introducere în spectroscopia experimentală" Ed. tehnică Buc. 1966, pag. 227

(3) *Geiseler G.* : „Ausgewahlte physikalische Methoden der organischen Chemie" Bd. II. Akad. Verlag Berlin 1963, pag. 27

(4) *Staab H. A.* : „Einfuhrung in die theoretische organische Chemie". Verlag Chemie— Weiheim 1964, pag. 344

(5) *Cadariu I.* : „Chimie fizică" vol. I. Ed. tehnică Buc. 1967, pag. 453

(6) *Kortüm* : „Kolorimetrie, Photometrie und Spektrometrie". Bd. II 1955, pag. 26

(7) *Dehler K., Kresze G.* : „Physikalische Methoden in der Chemie : Ultraviolettspektroskopie I". în „Chemie in unserer Zeit" nr. 4, (august) 1968, pag. 124.

ENERGIA CALORICĂ SUB ASPECTUL ENERGIEI CINETICE A PARTICULELOR ŞI SUB ASPECTUL RADIAŢIEI ELECTROMAGNETICE.*)

(Lecţie de sinteză pentru anul IV liceu)

prof. IOSIF ALEXANDRU MATHE, Şimleul Silvaniei

În primă aproximaţie, modelul gazelor ideale ne dă o imagine a energiei calorice ca energie medie cinetică a moleculelor în mişcare dezordonată. La studiul complet al energiei calorice intră în cercetare sinteza tuturor formelor de mişcare, în cele trei stări de agregare. Pînă la o dimensiune limită mişcarea este cea clasică, iar la dimensiuni mai mici mişcarea îm-

*) Propunere pentru discuţii.

bracă însuşiri deosebite a căror complexitate derivă din caracterul cuantic al particulelor. Cele două tipuri de mişcare determină două moduri de tratare a energiei calorice : modul clasic şi cel cuantic.

Ideea fundamentală a tratării clasice este principiul echipartiţiei energiei moleculelor pe fiecare grad de libertate, adică după numărul coordonatelor independente care determină poziţia corpului în spaţiu. Într-un asemenea sistem (porţiune din univers) pentru fiecare grad de libertate este repartizată o energie de :

$$E = \frac{1}{2} kT$$

unde T este temperatura absolută, iar k constanta lui Boltzman, a cărei valoare este $k = 1{,}38.10^{-23}$ J/K. Dacă însă în sistemul socotit clasic interacţiunea dintre molecule rezultă din forţe armonice (analogă cu forţa lui Hooke), atunci energia medie pe un grad de libertate este $E = kT$, însumînd energia cinetică şi cea potenţială cu o valoare de $\frac{1}{2} kT$.

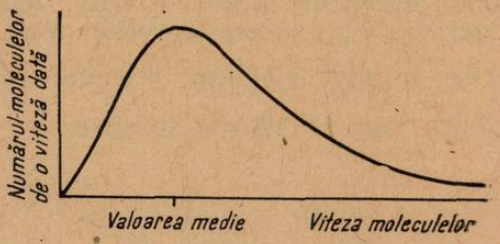


Fig. 1

O informaţie directă despre energia calorică obţinem prin senzaţia de căldură, care necesită introducerea unei mărimi numite temperatură, pe care o definim arbitrar. Cel mai bine ar fi dacă temperatura ar fi energia medie, astfel am obţine cea mai simplă funcţie posibilă. În loc de aceasta utilizăm un factor constant între energia unei molecule şi scara temperaturii absolute, numită scara Kelvin. Constanta de proporţionalitate este k. Putem spune deci, că temperatura este măsura mişcării termice a moleculelor.

Concepţia clasică în tratarea căldurii se mai caracterizează şi prin relevarea aspectului statistic al fenomenului, viteza moleculelor oscilînd în jurul valorii medii. Funcţia de distribuţie a vitezelor a fost calculată după Maxwell.

Din definirea scării Kelvin a temperaturii rezultă că la 0°K mişcarea mecanică a moleculelor încetează.

Energia medie a unui sistem de gaz, după grade de libertate :

Pentru o moleculă cu 1 atom $E = \frac{3}{2} kT$ 3 + 0 grade de libertate

Pentru o moleculă cu 2 atomi $E = \frac{5}{2} kT$ 3 + 2 grade de libertate

Pentru o moleculă cu 3 atomi $E = \frac{6}{2} kT = 3kT$ 3 + 3 grade de libertate

Molecula cu 2 atomi mai execută o mişcare de rotaţie în jurul a două axe perpendiculare, molecula cu 3 atomi în jurul a trei axe perpendiculare, etc. În general, pentru lichide şi solide, pentru un număr de N oscilatori, energia internă în cele trei dimensiuni va fi :

$$E = 3NkT$$

iar pentru un mol de substanţă;

$$E = 3RT$$

R fiind o constantă universală: $R = \acute{N}k$, unde N este numărul lui Avogadro ($N = 6{,}025.10^{2}$),

Variaţia de temperatură implică în totdeauna variaţie de energie dar nu şi invers, fapt care duce la necesitatea introducerii noţiunii de energie calorică latentă (variaţie de energie calorică fără variaţie de temperatură).

În Sistemul Internaţional, între energia calorică Q şi alte forme de energie putem pune semnul de egalitate ; deci unitatea de măsură este joule-ul.

În concepţia clasică îşi găseşte explicaţia schimbarea parametrilor p şi V în funcţie de T(legile gazelor), parametri care determină starea sistemului, de asemenea se explică o serie de fenomene ca: evaporarea, concentrarea, lichefierea etc. Gazele reale cer unele corecţiuni faţă de modelul ideal; ţinînd cont de volumul real ($V - b$) şi de interacţiunea între molecule, care modifică presiunea $\left(p + \frac{a}{V^2}\right)$, legea generală a gazelor (după Van de Waals) se scrie:

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$$

Radiaţia termică a fost aceea care a scos în evidenţă punctele sensibile ale mecanicii şi electrodinamicii clasice, alterînd principiul echipartiţiei energiei. Ipoteza discreţiunii energiei (Planck) a reuşit să explice de ce, în stabilirea unui echilibru între atomii oscilanţi şi radiaţia electromagnetică, aproape toată energia se concentrează în atomi şi numai o mică parte în cîmpul de radiaţie.

Noua concepţie depăşeşte imaginea clasică. Un număr oarecare de dopuri de lemn cuplate elastic între ele, dacă execută o mişcare oscilatorie pe suprafaţa unei ape, transmit energia lor apei, pe care se formează valuri şi ale căror energie se transformă în energie calorică. Este greu de închipuit ca dopurile să execute mişcări intensive, iar apa să nu primească energie aproape de loc. După această imagine, în interacţiunea atomilor cu radiaţia electromagnetică, practic toată energia ar trebui să treacă radiaţiei. Conform principiului echipartiţiei un corp încălzit ar trebui să radieze pe toate lungimile de undă. Ipoteza lui Planck însă, admite numai acele energii pentru un oscilator armonic liniar, care sînt multipli întregi ai unei energii ε_0, proporţională cu frecvenţa:

$$\varepsilon_0 = h\nu$$

Cu ocazia emisiei sau a absorbţiei, oscilatorii trec în salturi de la o stare la alta şi cu aceasta intră în vigoare legile statisticii matematice, care atribuie mai puţină energie (sau nu atribuie deloc) oscilatorilor „pretenţioşi" de înaltă frecvenţă. După noua concepţie se permite pe un grad de libertate a unei unde staţionare de frecvenţă ν, energia:

$$\overline{E} = \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

din care rezultă că E scade brusc cu creşterea lui ν. Acest rezultat concordă cu realitatea. Încălzind o sobă, apare prima dată căldura, apoi lumina roşie etc. Reprezentarea grafică a valorilor relative ale puterilor de emisie $E\nu$, ale corpului negru la o temperatură T, dată, pentru diferite lungimi de undă λ, arată astfel: (Fig. 2).

Se vede că maximul radiaţiei se deplasează spre lungimile de undă mici.

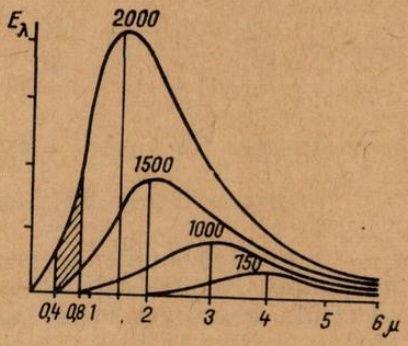


Fig. 2

Dependenţa căldurii specifice de temperatură poate fi explicată numai prin ipoteza lui Planck. Energia diferitelor grade de libertate provenită din mişcările de vibraţie şi rotaţie, nu intră simultan în funcţiune, apoi atomii şi moleculele nu pot fi privite ca corpuri rigide. La temperaturi joase ($h\nu$ mic) oscilatorii se află în stare energetică inferioară, iar mişcarea lor efectiv îngheţată nu contribuie la căldura specifică. De la o temperatură oarecare, mişcarea oscilatorie se consideră „activă" şi ridică valoarea căldurii specifice, care apoi devine constantă.

La metale şi electronii de valenţă (consideraţi liberi) contribuie la căldura specifică, însă sub aşteptările concepţiei clasice, după care în gazul de electroni un electron ar putea avea orice energie. Electronii se supun principiului excluziunii al lui Pauli şi astfel au mai multe restricţii în mişcarea lor, în comparaţie cu moleculele unui gaz clasic. În concluzie contribuţia electronilor la căldura specifică trebuie să fie mai săracă. La căldura specifică poate contribui mult şi starea magnetică a substanţei.

Conductibilitatea termică a lichidelor şi a gazelor se explică uşor în fizica clasică. Propagarea căldurii se face prin aşa numiţii curenţi convectivi. Acest curent, la lichide, se produce în urma acţiunii gravităţii (diferenţa de densitate, forţa archimedică). Un lichid încălzit la suprafaţă nu conduce căldura. La gaze joacă un rol important şi transmiterea impulsurilor, care nu depinde de gravitaţie. Peste mişcarea haotică se suprapune o mişcare dirijată în direcţia propagării căldurii. Procesul de conductibilitate termică şi procesul frecării sînt legate de curentul (fluxul) de substanţă. Este interesant că viteza de propagare a sunetului în gaze depinde de mişcarea termică a moleculelor şi nu de densitatea gazului.

Explicaţia conductibilităţii termice la solide depăşeşte fizica clasică. Este ştiut că conductibilitatea termică în acest caz e în legătură cu conductibilitatea electrică. Deci electronii trebuie să joace un rol important în conductibilitatea termică. Electronii de valenţă însă se supun principiului Pauli şi în acelaşi timp ei se mişcă într-un cîmp potenţial periodic (cîmp accidentat), deci electronii nu sînt chiar liberi. Descrierea mişcării lor este extrem de complicată. Trebuie să ştim că numai o mică parte a electronilor poate fi excitată termic, deoarece energiile inferioare sînt deja ocupate. Şi în acest caz teoria cuantică dă un rezultat sub aşteptări.

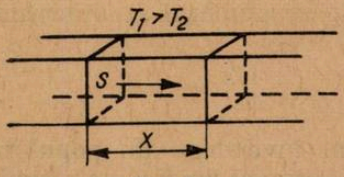


Fig. 3

Teoria clasică într-o primă aproximaţie descrie conductibilitatea termică a metalelor după schema de mai jos. (Fig. 3).

t este timpul, iar λ un coeficient de conductibilitate internă.

În forma diferențială:

$$dQ = \lambda S \frac{T_1 - T_2}{x} dt$$

din care $\frac{dQ}{dt} = \frac{T_1 - T_2}{\left(\frac{x}{S\lambda}\right)}$, $\frac{dQ}{dt}$ este curentul termic.

Relația de mai sus este asemănătoare cu legea lui Ohm. $\frac{x}{S\lambda}$ poate fi numită rezistență termică.

Forma generală de propagare a căldurii este radiația electromagnetică. Energia calorică este energie radiantă și face parte din gama spectrului de energie electromagnetică. Radiația termică poate apare atunci cînd o particulă trece dintr-o stare energetică superioară într-o stare energetică inferioară. Într-un sistem de gaz clasic unde ciocnirile sînt cauzate de mișcarea haotică, apare radiație electromagnetică cuantificată. Studierea fenomenelor termice în gaze nu necesită metodele folosite în fizica cuantică, deoarece nivelele de energie sînt foarte apropiate, și pot fi considerate ca avînd o structură continuă (moleculele nu au restricții în mișcare, nu se supun principiului lui Pauli, pot avea orice energie). În cazul acesta temperatura, care ne pune în evidență energia calorică, nu este cauza directă a mișcării moleculelor, ci a ciocnirilor violente între molecule. Într-un vas unde obținem un flux de gaz cu mișcare dirijată și unde liberul parcurs este mai mare decît lungimea vasului, în interior nu se schimbă temperatura, deoarece nu se produc ciocniri. Vom sesiza creșterea temperaturii la capătul vasului (tubului) unde se produc ciocnirile. Energia radiantă obținută astfel se numește energie de frînare. Această formă de energie se obține și în tubul Röentgen la anticatod (problema răcirii anticatodului). Energia calorică se încadrează în spectrul de energie electromagnetică care arată astfel:

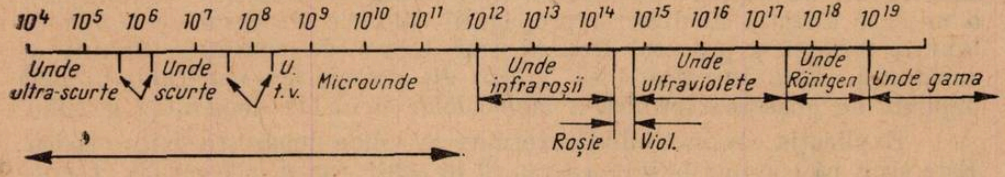


Fig. 4

Din anul 1960 energia calorică din porțiunea infraroșie este obiectul unor cercetări importante care se încadrează la generatorii cuantici (laseri). Nivelele inferioare de energie ale unui sistem sînt mai populate decît nivelele superioare. Fie nivelele $E_1 < E_2$ iar numărul atomilor (moleculelor) $N_1 < N_2$ atunci:

$$\frac{N_1}{N_2} = e^{-\Delta E k T}$$

k = constanta lui Boltzman. Dacă producem inversiune de populație între nivele, atunci obținem un T negativ, iar sistemul devine metastabil.

Din acest sistem obținem așa zisa emisie stimulată, care produce cele mai coerente raze și concentrează o energie nemaiîntîlnită pînă în prezent. Telecomunicația, cibernetica, biologia etc. așteaptă mult de la laseri.

Considerente practice — studierea echivalenței energiei calorice cu alte forme de energie — au dus la principiile termodinamicii.

Primul principiu se enunță astfel: căldura cedată unui sistem + lucrul mecanic, efectuat asupra sistemului = creșterea energiei interne a sistemului. În forma diferențială aceasta se scrie:

$$dQ + dW = dU$$

Relația exprimă legea de conservare a energiei. Această generalizare rezultă din nenumăratele experiențe referitoare la echivalența dintre cantitatea de căldură transmisă și lucrul mecanic. Legea de conservare a energiei, deci primul principiu ajunge la o generalizare atunci cînd se confirmă echivalența diferitelor forme de energie (calorică, electromagnetică, nucleară etc). Putem merge și mai departe incluzînd în această lege și rezultatul principiului relativității:

$$\Delta E = \Delta mc^2$$

Dacă un sistem primește energie din exterior, are loc o variație a masei. Relația dintre energie și masă, astăzi nu mai produce confuzii și mistificări referitoare la așa zisa „dispariția a materiei", deoarece avem dovezi certe că materia își găsește existența în două forme: substanță și cîmp. Deci într-o concepție mai largă putem vorbi despre echivalența între masă și energie. Realizarea acestei echivalențe este însă inhibată de o altă lege de conservare așa zisa lege de conservare barionică. Dacă aceasta nu ar exista ne-am transforma într-o fracțiune de secundă în leptoni și radiație electromagnetică. Astfel despre energia totală a unei mase de substanță

$$E = mc^2$$

putem vorbi numai matematic. În realitate și reacțiile nucleare duc la variații de masă destul de mici.

În fizică există și alte legi de conservare, care sînt valabile în anumite cîmpuri de forță. Legea de conservare a energiei, pînă în prezent, nu a manifestat nici o alterație. Se pare că această lege „guvernează lumea".

Al doilea principiu cercetează direcția transformării energiei și dacă transformarea între energia calorică și cea mecanică este reversibilă. La a doua problemă răspunsul este nu. Energia calorică nu se transformă în întregime în lucru mecanic. (Cu energia calorică a mărilor nu vom putea pune în mișcare vasele. În mod voluntar nu putem obține vid). Rezultă deci că în acest obiect de studiu intră un fenomen ireversibil, care este o consecință a comportării statistice a unui mare număr de particule (molecule, atomi, ioni etc.). Conform principiului al doilea, într-un sistem închis (condiție principală) măsura dezordinii crește. Măsura acestei dezordini se numește entropie. Creșterea dezordinii, a entropiei (și noi, numai pe aceasta o putem măsura) își găsește expresia matematică în relația:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

(ΔS este variația de entropie). Principiul al II-lea are un caracter probabilistic, după care mișcarea dezordonată este mai probabilă decît cea ordonată (lucru mecanic), adică transformarea mișcărilor termice (mișcare dezordonată) în mișcare ordonată este mai puțin probabilă. Entropia după Boltzman este proporțională cu logaritmul probabilității stării:

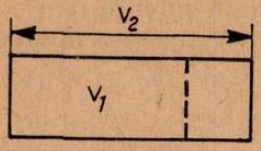


Fig. 5

$$S = k \ln W$$

unde W este probabilitatea stării și k constanta lui Boltzman.

W arată de cîte ori este mai mare probabilitatea ca toate moleculele să fie în V_2 decît în V_1. Entropia indică probabilitatea unei stări. Principiul al doilea, față de primul principiu, nu este general, ci suferă alterări în lumea microparticulelor. O particulă elementară considerată undă-corpuscul, poate încălca această lege, ea poate învinge o barieră de potențial de o energie mai mare de cît energia sa proprie. Acest fenomen se numește efect tunel. Deci în fizica cuantică nu este imposibilă construirea unui perpetuum mobile de speța a II-a.

Ca și principiul I și principiul al II-lea se poate extinde peste limitele energiei calorice și chiar peste limitele fizicii. Noțiunea de entropie este folosită astăzi și în alte ramuri ale științei, ca teoria informației etc.

Al treilea principiu enunță că la temperatura 0° absolut entropia este 0.

$$T = 0 \longrightarrow S = 0$$

Deci la 0°K se așteaptă la o ordonare perfectă, ideală a moleculelor și atomilor, orice mișcare mecanică a acestor particule încetează, iar presiunea și volumul gazului devin 0. O consecință a principiului al treilea este că în apropierea temperaturii de 0°K rezistența electrică tinde către 0. Acest fapt se manifestă în fenomenul de supraconductibilitate a conductorilor electrici, fenomen mult studiat în zilele noastre. Al treilea principiu al termodinamicii a avut și alte formulări ca: $T = 0$ nu se poate obține, sau la $T = 0$ căldura specifică este 0.

Nici principiul al treilea nu este scutit de alterări în fizica cuantică. La 0° K electronii de conducție nu se află toți la nivelul energetic 0, așa după cum am aștepta în fizica clasică, ci ei ocupă de la un anumit nivel de energie în jos toate nivelele, iar de la acest nivel în sus toate nivelele sînt goale. Acest nivel se numește nivel Fermi.

După cum am văzut, fizica clasică are limitele ei — modelele studiate, precum și descrierea matematică a legilor cer corecțiuni. Trecerea de la acest model mai simplu la un model mai perfecționat este posibilă prin adoptarea unui principiu numit principiul corespondenței. După acest principiu relațiile matematice ale modelului nou trebuie să cuprindă drept caz particular relațiile matematice ale modelului mai rudimentar. Deci în fizica cuantică, fizica clasică trebuie să apară ca un caz particular al ei.

Din relația lui Luis de Broglie:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

unde prin intermediul constantei lui Planck se leagă proprietăţile ondulatorii şi cele corpusculare ale obiectelor fizice, desprindem şi limitele între care putem trata un fenomen după concepţia clasică, sau cea modernă. Ar fi inutil ca macroobiectele să fie tratate după fizica cuantică, deşi am obţine rezultate corecte. Lungimea de undă a acestor obiecte devine neglijabilă ca mărime şi o astfel de tratare ar implica aventuri matematice infructuoase.

LEGILE ŞI RELAŢIILE FIZICII ÎN LUMINA CONEXIUNII CAUZALE DINTRE FENOMENE *)

OTTO F. G. ACZEL, Universitatea Timişoara

Volumul şi nivelul cunoştinţelor de fizică predate în şcolile de cultură generală sînt stabilite în esenţă prin programele şcolare şi în detaliu prin manualele redactate pe baza acestor programe. Rolul profesorului nu se rezumă însă, evident, numai la reproducerea mecanică în faţa elevilor a cunoştinţelor prevăzute aici. Dimpotrivă, el are datoria să aducă în timpul lecţiilor un aport personal, de ordin metodic, prin care să uşureze elevilor înţelegerea corectă a fenomenelor şi legilor fizice. Nici un manual, oricît de bun ar fi el, nu poate prelua sarcina contribuţiei creatoare a profesorului la reuşita lecţiilor de fizică, mai cu seamă a celor recapitulative şi de sistematizare, care sînt vizate în primul rînd în această lucrare.

Din spectrul infinit al posibilităţilor de îmbogăţire calitativă a lecţiilor de fizică am considerat util să ne fixăm atenţia asupra scoaterii în evidenţă a cauzalităţii exprimate în legile şi relaţiile fizice studiate în învăţămîntul de cultură generală, deoarece cu această ocazie ni se oferă prilejul unei sistematizări a fizicii şcolare din puncte de vedere mai puţin obişnuite. Cum discuţiile purtate cu elevii în acest sens reclamă din partea lor o anumită maturitate de gîndire, ele pot avea loc doar în clasele mai mari.

Problema cauzalităţii în fizică, adică problema legăturii, a conexiunii dintre cauză şi efect, a fost şi este mult discutată pe plan filozofic de pe poziţii materialiste şi idealiste. În concepţia idealistă, existenţa cauzalităţii este condiţionată de existenţa gîndirii, a subiectului cunoscător, pe cînd în cea materialistă ea este conţinută în lucruri, în fenomenele fizice înseşi, nedepinzînd de conştiinţa şi voinţa subiectului. Înţelegerea profundă a fenomenelor naturii presupune o interpretare materialistă a cauzalităţii, concepţie atestată de întreaga experienţă a omenirii, de dezvoltarea ştiinţei şi filozofiei.

Se ştie că orice fenomen are o cauză, fiind generat de unul sau mai multe fenomene. Nu există fenomene fără cauze. Totuşi, ca urmare a unor rezultate în fizica cuantică, acest adevăr a fost atacat prin interpretarea idealistă a acestor rezultate, care s-a dovedit însă inconsistentă atît din punct de vedere fizic, cît şi filozofic. În şcolile noastre de cultură generală, cele cîteva elemente de fizică cuantică prevăzute în programă, nu necesită ridicarea problemei cauzalităţii, aşa că ea va fi discutată în limitele fizicii clasice.

*) Lucrare prezentată la consfătuirea SSFC de la Sibiu-oct. 1970

Scopul lucrării de faţă nu constă în a aduce contribuţii noi la teoria cauzalităţii, ci în a analiza, ce anume din această teorie poate fi de folos unui profesor pentru a putea fi valorificat în timpul lecţiilor de fizică, în ce măsură poate şi trebuie să înţeleagă un elev interpretarea cauzală a legilor fizicii.

Punctul de plecare în această discuţie îl constituie legile şi relaţiile fizicii, exprimate prin dependenţe funcţionale. Trebuie precizat de la început, că nu există o identitate între lege şi legătură cauzală, categoria de cauzalitate fiind mai îngustă decît cea de lege. Conexiunea cauzală presupune întotdeauna o generare, o producere, pe cînd legile pot fi şi de stare, exprimînd o corelaţie dintre diferite mărimi ce nu se află în dependenţă cauzală. Pe de altă parte, nu toate relaţiile dintre mărimile fizice au primit denumirea de lege. Iată deci argumente suficiente, care impun o clasificare a relaţiilor fizicii sub aspectul interdependenţei cauzale dintre fenomene.

I. Există o serie de dependenţe funcţionale, care exprimă o conexiune cauzală între fenomene. Exemple :

— Legea a doua a dinamicii, $\vec{F} = m\vec{a}$, conţine legătura dintre forţa $\vec{F}$ (cauză) şi acceleraţia $\vec{a}$ (efect). Privită prin prisma cauzalităţii, legea ar trebui scrisă logic sub forma $\vec{a} = \vec{F}/m$, care exprimă efectul în funcţie de cauză. Scrisă sub ultima formă, legea va fi mai accesibiă elevilor, care nu pot înţelege sensul mai profund al ei, acela de a servi concomitent şi ca relaţie pentru măsurarea forţei. Ei se cred suficient de familiarizaţi cu noţiunea de forţă din viaţa de toate zilele, pentru a o considera cunoscută ca o mărime fizică şi a exprima cu ajutorul ei acceleraţia, o noţiune în general mai greu de înţeles pentru elevi.
(Sîntem de părere că legea a II-a a lui Newton trebuie însuşită de elevi în ordinea : $\vec{F} = m\vec{a}$, apoi $\vec{F} = \mathrm{d}(m\vec{v})/\mathrm{d}t$, noţiunea de impuls întîmpinînd la început dificultăţi în înţelegerea ei).

— Legea inducţiei electromagnetice este tipică pentru ilustrarea cauzalităţii în fenomenele fizice. În formule $e = -\mathrm{d}\Phi/\mathrm{d}t$, t.e.m. indusă (efectul) este creată prin variaţia fluxului magnetic (cauză). Şi aici există un „sens unic" în citirea cauzală a legii : numai de la stînga la dreapta.

Ceea ce s-a scos în evidenţă în aceste două exemple, este un fapt general : legile fizice, care exprimă o conexiune cauzală, se bucură de proprietatea ireversibilităţii, funcţia şi argumentul neputînd să-şi inverseze rolurile.

Aici trebuie să atragem atenţia, că această constatare se referă exclusiv la aspectul cauzal al dependenţei funcţionale, nu şi la aspectul matematic. Este necesar să se precizeze în faţa elevilor, că explicitarea unei formule este posibilă în funcţie de oricare din mărimile fizice care intervin şi că această explicitare are o semnificaţie fizică bine determinată. Legea inducţiei electromagnetice bunăoară, scrisă sub forma $\mathrm{d}\Phi = -e\mathrm{d}t$, poate da naştere la o problemă de genul următor : care este variaţia fluxului magnetic $\mathrm{d}\Phi$, care în timpul $\mathrm{d}t$ generează o t.e.m. de inducţie egală cu e ? Esenţial în asemenea cazuri rămîne, să nu se piardă din vedere că, deşi în problemă dată necunoscută, variaţia fluxului este cauza care are drept efect apariţia t.e.m.

Atunci cînd în clasă se discută conexiunile cauzale conţinute în legile fizice, nu trebuie neglijată următoarea latură a chestiunii. Dependen-

ţele funcţionale, descrierea m a t e m a t i c ă a legilor, exprimă în mod obiectiv conţinutul relaţiilor funcţionale dintre f e n o m e n e ale naturii, dar nu se confundă cu ele. Determinarea cantitativă a legilor fizice există în mod o b i e c t i v , indiferent dacă matematica a reuşit pînă azi să le exprime prin ecuaţii, sau nu. Legea a II-a a mecanicii sau legea inducţiei electromagnetice descriu în mod corect şi acele fenomene, care au avut loc înaintea lui Newton sau Faraday, cu toate că erau pe atunci nedescoperite. Dacă o cauză fizică acţionează mereu în condiţii identice, şi efectele vor fi identice. Ceea ce deosebeşte însă fenomenele ce se află în conexiune cauzală, este gradul diferit de dificultate, cu care ele pot fi descrise matematic. Cu cît sînt mai complexe fenomenele, cu atît mai grea este formularea cantitativă a legilor. Găsirea ei este dependentă de stadiul de dezvoltare a matematicii.

Mai sus am ales spre exemplificare pentru dependenţele funcţionale şi cauzale legea a II-a a lui Newton şi legea inducţiei electromagnetice fiindcă interpretarea lor se poate face cu destulă uşurinţă de elevi. Dar nu întotdeauna ne aflăm într-o situaţie atît de fericită, unde dependenţa cauzală este evidentă. Ne referim aici de pildă la legea a II-a a lui Kirchoff, aplicată simultan la un număr mai mare de ochiuri de reţea, unde apar în aceeaşi relaţie mai multe t.e.m. şi mai mulţi curenţi. Cauza trecerii acestor curenţi (şi nu a altora) este totalitatea t.e.m. şi repartizarea lor pe circuit, iar dependenţa cauzală este mai complicată, fiindcă un singur curent nu poate fi exprimat cu o singură t.e.m., ci ansamblul valorilor curenţilor este determinat tot de ansamblul şi distribuţia t.e.m. Reflectarea pe plan matematic a acestei situaţii este existenţa unui sistem de ecuaţii, a cărui soluţie trebuie calculată şi cuprinde în general tensiuni electromotoare ce apar în toate ecuaţiile sistemului.

O altă dificultate se poate ivi în legătură cu interpretarea cauzală a formulelor de tipul $\Delta l = l_0 \alpha \Delta t$ (dilataţia termică liniară). Atît variaţia de temperatură Δt, cît şi alungirea Δl sînt efecte ale aceleaşi cauze : a absorbţiei de căldură de către proba studiată. Întrucît însă cantitatea de căldură nu este inclusă în relaţie, nu avem dreptul să depăşim cadrul formulei şi să pretindem de la ea un conţinut cauzal în acest sens. Ea totuşi cuprinde o conexiune cauzală, dar între variaţia de temperatură şi variaţia de lungime. Se poate deci spune că variaţia de temperatură este cauza dilatării termice, aşa cum se poate spune în cazul alungirii elastice, că variaţia de lungime are drept cauză aplicarea unor forţe exterioare.

Este cunoscut faptul că nu orice conexiune cauzală poate fi redată printr-o dependenţă funcţională. Dar asemenea cazuri nu constituie obiect de studiu în fizica şcolară. Aici se întîlnesc însă legi, care sînt susceptibile de o expresie matematică şi care totuşi nu sînt predate decît în mod calitativ. Aşa se întîmplă de exemplu la studiul influenţei presiunii asupra temperaturii de schimbare a stărilor de agregare. Variaţia presiunii (cauza) are ca efect variaţia temperaturii de topire şi de fierbere. Profesorul are datoria să accentueze în timpul lecţiilor respective existenţa unei conexiuni cauzale între aceste fenomene, cu menţionarea că ea există în mod obiectiv chiar dacă formula cprespunzătoare rămîne elevilor necunoscută sau nu ar fi cunoscută în fizică. Prin aceasta se întăreşte convingerea elevilor că în natură dependenţele cauzale constituie o realitate obiectivă şi că ele nu sînt condiţionate de cunoaşterea relaţiei matematice.

II. A doua categorie de dependenţe funcţionale ce se întîlnesc în fizica învăţămîntului de cultură generală, sînt legile şi relaţiile, care nu

exprimă nici o dependenţă cauzală între fenomene, ci leagă între ele mărimile fizice aferente unor proprietăţi coexistente, inseparabile. Definiţia legii în filozofia marxistă nu include relaţia cauzală tocmai pentru că există legi, care nu exprimă prin conţinutul lor relaţii cauzale. În timp ce legile cauzale răspund la întrebarea „de ce?", cele necauzale se rezumă la un caracter descriptiv, răspunzînd la întrebarea „cum?".

Exemple de legi şi relaţii fără conţinut cauzal sînt : legile de mişcare, legile de stare ale gazelor, relaţia lui De Broglie dintre impulsul unei particule şi lungimea de undă asociată etc. Într-adevăr, nu se poate spune că timpul ar fi cauza spaţiului străbătut de un corp, sau că temperatura este cauza presiunii, sau impulsul este cauza existenţei lungimii de undă asociate etc. La fel stau lucrurile cu cele două relaţii fundamentale ale teoriei relativităţii restrînse, formula masei în funcţie de viteză şi expresia energiei în funcţie de masă. Viteza şi masa precum masa şi energia, nu sînt cauză şi efect care acţionează una asupra celeilalte, ci două caracteristici distincte ale stării obiectului, care variază paralel şi simultan sub acţiunea unei cauze comune, a cîmpului de forţe, care acţionează asupra particulei.

În privinţa legilor de stare trebuie menţionat că atunci cînd sînt scrise sub formă diferenţială, ele dobîndesc un conţinut cauzal. Astfel, ecuaţia de stare a gazelor perfecte, scrisă sub forma $pV/T = \text{const}$, nu exprimă nici o conexiune cauzală, dar dacă ea se aplică de exemplu la transformarea izobară, se poate scrie sub forma $\Delta V = \text{const.}\ \Delta T$ şi se poate afirma că efectul, care constă în variaţia volumului gazului se datoreşte variaţiei de temperatură, ce joacă aici rol de cauză.

III. In fine, în al treilea rînd, trebuie să ne ocupăm de relaţiile de definiţie, care sînt de două feluri.

a) Relaţiile de definiţie propriu zise constituie notaţii prescurtate ale unor combinaţii importante ale mărimi ce se dovedesc utile în studiul fizicii ($L = F.d$, $E_c = mv^2/2$, $I = Q/t \ldots$). Desigur, orice definiţie stă la discreţia celui ce o face, ele nefiind strict obligatorii sub o anumită formă şi pot fi înlocuite cu altele. Se poate imagina uşor o fizică, în care definiţia modulului acceleraţiei să nu fie $a = \mathrm{d}v/\mathrm{d}t$, ci de exemplu $a = 1/2.\ \mathrm{d}v/\mathrm{d}t$ sau $a = (\mathrm{d}v/\mathrm{d}t)^2$ etc. Totuşi, fizica, aşa cum este alcătuită azi, a ales soluţiile cele mai simple posibile.

Ţinîndu-se seama de aceste precizări este uşor de înţeles că relaţiile de definiţie din această categorie nu exprimă dependenţe cauzale. Cu toate acestea există pentru elevi pericolul unor confuzii, cum ar fi exprimări de genul următor : „variaţia vitezei este cauza acceleraţiei", sau „cauza curentului electric este trecerea sarcinilor electrice prin conductor ($I = Q/t$)". Confuzia constă în separarea unor fenomene sau mărimi care nu pot fi separate. Se face distincţie între acceleraţie şi variaţia vitezei (pe unitate de timp), ca şi cînd ar fi vorba de două fenomene diferite, dintre care unul este cauza celuilalt. Tot aşa, trecerea unor sarcini electrice prin conductori este separată de existenţa curentului electric. Elevul trebuie să ştie că variaţia vitezei şi acceleraţia sînt mărimi în relaţie de echivalenţă, tot aşa cum fenomenul de trecere a sarcinilor printr-un conductor n u d ă n a ş t e r e, c i î n s e a m n ă existenţa unui curent electric.

b) Frecvent o dependenţă funcţională cuprinde şi un factor de proporţionalitate, a cărui definiţie reiese chiar din dependenţa respectivă. Exemple : definiţia coeficientului de frecare rezultă din formula care exprimă legile frecării ($F_r = fN$) sau cea a căldurii specifice, din formula

cantității de căldură ($Q = cm\Delta t$). Asemenea relații se încadrează simultan în două din cele trei categorii, putînd exprima și o dependență cauzală.

Cele trei tipuri de relații analizate mai sus în general nu sînt de natură să se excludă unele pe altele. Este drept că în majoritatea cazurilor o relație aparține numai uneia din cele trei grupe. Dar uneori se întîlnesc și excepții evidente (cum s-a arătat mai sus), la care clasificarea ne obligă să atribuim relației o dublă calitate, ea făcînd parte simultan din două grupuri. La exemplul dat anterior mai adăugăm relația dintre fluxul magnetic și intensitatea curentului $\Phi = LI$, care poate fi interpretată ca exprimînd o conexiune cauzală dintre intensitatea curentului (cauză) și fluxului magnetic (efect), servind în același timp drept definiție pentru coeficientul de autoinducție. Precizăm însă, că nu poate exista o suprapunere a categoriilor I și II adică, o relație nu poate fi concomitent și cauzală și necauzală.

După ce am trecut în revistă cele trei categorii de relații întîlnite în fizica școlară și combinațiile lor posibile, se impune pe scurt și analiza problemei e x p l i c ă r i i cauzale a dependențelor funcționale. Elevii pot să pună profesorului întrebări de felul următor : „de ce dependența funcțională are cutare sau cutare formă și nu alta ?" sau, „de ce se conservă energia ?" etc. Ne aflăm aici în fața unei situații dificile, care s-a ivit și se ivește nu numai în clasă, ci și în știința fizicii în general. Ea este dificilă pentru motivul, că este cu mult mai greu să se stabilească cauza unei anumite dependențe funcționale, decît forma ei. Cu tot stadiul înaintat, la care se găsește fizica astăzi, mai există suficiente legi, ce încă nu au fost explicate cauzal. Legile de conservare ale masei, ale impulsului, ale sarcinii electrice, etc., fac parte din această categorie. Ceea ce s-a stabilit pînă în prezent este constatarea conservării precum și relațiile matematice corespunzătoare, nu însă și cauzele conservării. În anumite cazuri s-a ajuns totuși la explicarea unor legi după crearea teoriei relativității și a fizicii cuantice, înțelegîndu-se prin „explicare" subordonarea acestor legi altelor mai generale, mai profunde. Se poate admite cu certitudine că în viitor fizica va descoperi în continuare legi noi, care în raport cu cele din urmă, vor fi și mai generale. Dar acest lanț este întrerupt prin limite firești, conturate de legile cele mai generale ale lumii materiale, adică legea conservării materiei și a mișcării ei constituind principiul filozofic cel mai cuprinzător, fundamentul tuturor celorlalte principii și legi și nereductibil la alte principii sau legi și mai cuprinzătoare. Nu există nici o cauză pentru existența, mișcarea și conservarea materiei.

Considerăm că asemenea discuții nu e bine să fie la ordinea zilei în învățămîntul mediu, ele nu trebuie provocate de profesor tocmai din cauza dificultății lor. Dar dacă ele sînt pornite din rîndul elevilor, profesorul are datoria să fie documentat și să dea răspunsul în spiritul soluționării materialiste a problemei. Altfel se naște pericolul unor interpretări idealiste, ce pot culmina prin infiltrarea unor idei creaționiste în mintea elevilor. Combaterea lor, evitarea apariției lor sînt sarcini educative dintre cele mai frumoase ale profesorului de fizică.

În încheiere vom exemplifica cele expuse printr-o schemă-tablou care poate servi ca bază pentru o lecție de recapitulare în clasa a XI-a reală, referindu-se la capitolul „electromagnetism". Schema va include legile și relațiile fundamentale din acest capitol, clasificate după criteriile enunțate mai sus : I, legi care exprimă o dependență cauzală ; II, dependențe funcționale care nu exprimă conexiuni cauzale ; III, relații de defi-

I	II	III
$\vec{F} = I(\vec{l} \times \vec{B})$		$B = \frac{F}{Il}$
		$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S}$
$B = \mu \frac{NI}{l}$		$\mu = \frac{Bl}{NI}$
		$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$
		$H = \frac{NI}{l}$
	$\vec{B} = \mu \vec{H}$	
$H = \frac{I}{2\pi r}$; $B = \frac{\mu I}{2\pi r}$		
$H = \frac{I}{2r}$; $B = \frac{\mu I}{2r}$		
$F = \mu \frac{I_1 I_2 l}{2\pi r}$		
$\vec{f} = q \vec{v} \times \vec{B}$		
	$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$	
	$NI = \sum H_i l_i$	$F = NI$
	$\Phi = \frac{F}{R_m}$	$R_m = \frac{l}{\mu S}$
$F = \frac{B^2 S}{2\mu_0}$		

niție. Relațiile cu interpretare dublă apar de două ori în aceeași linie. Ținem să precizăm că tabloul este astfel întocmit, ca să respecte spiritul manualului oficial, ediția 1970, chiar dacă — din motive metodice — acest spirit trebuie să difere uneori de acela al unor manuale mai riguroase, cursuri universitare sau tratate de fizică. De exemplu : definiția permeabilității magnetice rezultă în manual din formula $B = \mu N\, I/l$, pe cînd ea se introduce în alte părți prin intermediul susceptibilității magnetice, etc.

BIBLIORAFIE

1. *Călina Mare*, Determinismul și fizica modernă, Editura politică, București, 1966
2. *I. V. Kuznețov* ș.a., ș.a., Problema cauzalității în fizica modernă, Editura științifică, București, 1963
3. *N. Hangea* ș.a., Fizica, manual pentru clasa a XI-a — liceu, secția reală, Editura didactică și pedagogică, București, 1970

O METODĂ DE MĂSURARE A REZISTIVITĂȚII UNUI SEMICONDUCTOR, FĂRĂ A FOLOSI ÎN CIRCUITUL DE COMPENSARE UN ELEMENT NORMAL

LUCIA CONSTANTINESCU, OVIDIU CONSTANTINESCU, București

Rezistivitatea este o caracteristică de bază a materialelor. În cazul semiconductorilor ea poate lua valori între 10^{-5} și $10^{+8}\,\Omega$m la temperatura de 20°C.

Pentru a măsura rezistivitatea ρ a unui semiconductor, se lucrează cu o probă din semiconductorul respectiv. Proba are o formă geometrică regulată (cilindrică sau prismatică), cu secțiunea constantă, prin care se face să circule un curent electric de intensitate I. Este necesar să se măsoare diferența de potențial U dintre două puncte ale probei, aflate la distanța l. Folosind legea lui Ohm pe o porțiune de circuit se poate scrie :

$$\rho = \frac{U}{I} \cdot \frac{S}{l} \tag{1}$$

unde S este secțiunea probei de semiconductor.

Diferența de potențial dintre cele două puncte ale probei se culege cu ajutorul a două sonde metalice. La tensiunea culeasă de sonde trebuie însă adăugată și căderea de tensiune pe rezistențele de contact metal-semiconductor. Pentru a se înlătura aceste căderi de tensiune parazite, măsurarea diferenței de potențial culeasă de sonde se face cu ajutorul unei metode de zero.

Schema de măsurare, folosită în mod curent, este dată de fig. 1 și conține două circuite principale :

1. — circuitul de alimentare al probei, format dintr-o baterie, un reostat, un inversor de tensiune și un miliampermetru.

2.— circuitul compensator, care este un potențiometru compensator, avînd ca elemente principale un galvanometru G, un element normal E.N. și o baterie B.

În lucrarea de față se prezintă o metodă de măsurare a diferenței de potențial culeasă de sondă, fără a folosi în circuitul de compensare un element normal.

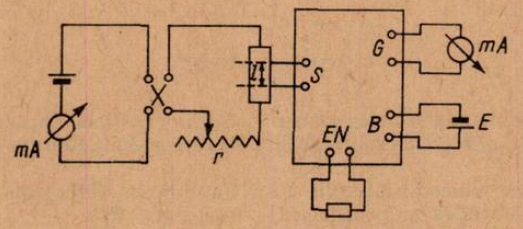


Fig. 1

Montajul acestei metode, prezentat în fig. 2 conține tot două circuite :

1. — circuitul de alimentare al probei, cu nimic diferit de cel din metoda anterioară.

2.— circuitul de compensare, format dintr-o baterie E, două cutii cu rezistori R_a și R_b, un miliampermetru mA, un galvanometru G și un inversor de tensiune.

Potențialul bateriei din circuitul de compensație trebuie să fie astfel ales încît să se opună polarității diferenței de potențial culeasă de sonde, astfel încît cele două diferențe de potențial să se anuleze una pe alta.

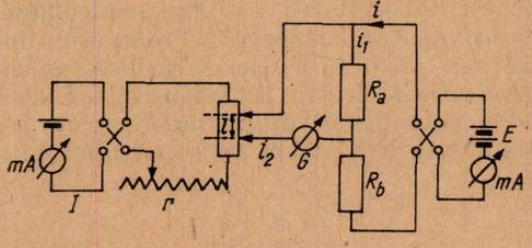


Fig. 2

Căderea de tensiune pe cutia cu rezistori R_a, dacă sondele au între ele distanța l și se culege o cădere de tensiune U, este dată de relația :

$$i_1 R_a = U + i_2 r_c \tag{2}$$

unde r_c este rezistența contactelor probă — sonde, iar i_2 este intensitatea curentului care circulă prin galvanometrul G.

Schimbînd valoarea rezistorului R_a, menținînd însă constantă suma rezistorilor, $R_a + R_b$, deci și valoarea intensității curentului i, se poate compensa diferența de potențial U culeasă de sonde, în așa fel încît in-

tensitatea curentului prin galvanometrul G să fie nulă ($i_2 = 0$), deci $i_1 = i$ și :

$$U = R_a \cdot i \tag{3}$$

Substituind în relația (3) valoarea tensiunii U rezultată din legea lui Ohm (1), în care I este intensitatea curentului care circulă prin probă în circuitul de alimentare, rezultă :

$$R_a = \frac{I \cdot \rho}{iS} \cdot l \tag{4}$$

Expresia (4) arată că între valorile rezistenței R_a și cele ale distanței l, în cazul în care celelalte mărimi rămîn constante, există o relație de proporționalitate.

Reprezentarea grafică a funcției $R_a = f(l)$ conduce la o dreaptă a cărei pantă m, este tocmai : $m = \frac{I \cdot \rho}{i \cdot S}$.

Din panta acestei drepte se poate calcula rezistivitatea ρ a semiconductorului.

O altă sursă de erori în măsurarea diferenței de potențial U dintre două puncte ale probei este apariția unei tensiuni termoelectromotoare, datorită apariției unui gradient de temperatură de-a lungul probei. Mărimea acestei tensiuni dV este proporțională cu dT conform relației :

$$dV = \alpha \, dT$$

unde α este tensiunea termoelectromotoare pentru $dT = 1$ grad.

Deoarece mărimea și direcția lui dV este, pentru un timp destul de lung, constantă, influența ei se poate elimina. Măsurînd tensiunea dintre cele două sonde pentru două sensuri opuse ale curentului prin probă și știind că valoarea absolută a lui dV este mică în raport cu căderea de tensiune U dintre sonde, tensiunea măsurată în cele două cazuri va fi :

$$U_1 = U + dV \qquad \text{și} \qquad -U_2 = -U + dV$$

Scăzînd cele două relații se obține :

$$U = \frac{U_1 + U_2}{2} \tag{5}$$

Folosind deci inversoarele de tensiune din schemă, se va găsi într-un caz $U_1 = R_{a1} \cdot i$ și în celălalt caz $U_2 = R_{a2} \, i$ conform relației (3).

Ținînd cont de relația (5), rezultă :

$$R_a = \frac{R_{a_1} + R_{a_2}}{2},$$

valoare cu ajutorul căreia se trasează graficul $R_a = f(l)$, din panta căruia rezultă ρ.

Această metodă este evident o metodă indirectă de măsură. Se măsoară direct intensitățile curenților cu miliampermetrul, distanța între sonde și secțiunea probei. Precizia de măsură a rezistivității va depinde de precizia măsurătorilor directe. Astfel, folosind instrumente electrice

de clasă 1,5 și măsurînd cu șublerul distanța dintre sonde și laturile secțiunii dreptunghiulare ale probei cu precizia de 0,1 mm, se poate calcula că eroarea relativă maximă va fi de 10^{-2}, deci de 1%.

BIBLIOGRAFIE

1. *A. F. Joffe* Canad. J. Phys. (1956) 34, 1342
2. *F. J. Morin* and *J.P. Maita* Phys. Rev. (1954) 96, 28
3. *R. A. Smith* Semiconductors— Cambridge University Press
4. *K. K. Darrow* Research (1964) 7, 48

TRUSA MECANICA LICHIDELOR (TIP II)

Fizician *OCTAVIAN IACOB* București

Predarea noțiunilor de hidrostatică cît și o parte din cele de hidrodinamică, atît în școala generală cît și în liceu se realizează cu „Trusa mecanica lichidelor".

În componența trusei intră : Aparat pentru demonstrarea legii lui Pascal; Aparat pentru punerea în evidență a presiunii de jos în sus; Capsulă manometrică; Vase comunicante; Model de pompă aspiro-respingătoare; Roți hidraulice cu carcasă; Turbină Pelton și Kaplan.

1. Aparat pentru demonstrarea legii lui Pascal.

Aparatul este construit dintr-un vas cilindric de sticlă, închis la partea superioară printr-un capac de bachelită montat etanș. În capac sînt șase găuri în care, prin intermediul unor dopuri de cauciuc, se fixează șase tuburi de sticlă. Unul din ele face legătura cu o pară de cauciuc.

Scoatem dopul de cauciuc (ce conține tubul cu para de cauciuc) și turnăm apă colorată cca 2/3 din vas. Fixăm apoi dopul la loc (cu tubul și para de cauciuc). (Fig. 1)

Luăm para de cauciuc astfel încît degetul să astupe orificiul parei. Apăsînt para, aerul pătrunde în spațiul liber din vas și exercită o presiune uniformă asupra lichidului. Acesta o transmite integral, în toate direcțiile în lichid, fenomen observabil prin ridicarea nivelului în tuburile de sticlă, indiferent de forma și dimensiunile lor.

2. Presiunea hidrostatică. Demonstrația se face cu : manometrul tub U, capsula manometrică și vasul cilindric de sticlă. (Fig. 2)

Manometrul este format dintr-un tub de sticlă în formă de U, montat pe un panou vertical, fixat pe suportul de bachelită din trusă. Racordăm manometrul cu un tub de cauciuc de capsula manometrică. Aceasta este închisă cu o membrană elastică de cauciuc și se poate roti în plan orizontal. Turnăm apă în vasul cilindric de sticlă și apă colorată în tubul U al manometrului. Introducem capsula manometrică în apă și arătăm dependența presiunii hidrostatice de adîncime.

Repetăm aceeași experiență (de data aceasta h este constant) cu o soluție de NaCl. Arătăm dependența presiunii hidrostatice de densitatea lichidului.

În ambele cazuri observăm denivelarea lichidului din tubul manometric.

3. Punerea în evidenţă a presiunii de jos în sus. Aparatul este format din vasul cilindric de sticlă, un capac de aluminiu prin care trece un tub de sticlă cu Ø 30 mm. (Fig. 3)

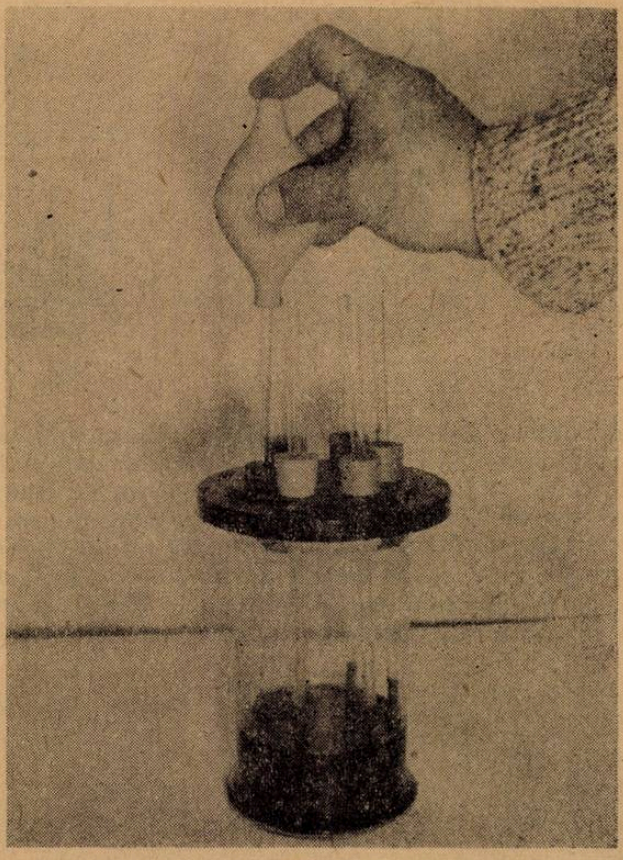


Fig. 1

Scoatem capacul de aluminiu şi turnăm apă cca 4/5 din vas. La capătul tubului care intră în vas, punem discul de stiplex, ţinut lipit cu ajutorul firului de relon ce trece prin tub. Introducem, ţinînd discul lipit, tubul în vas. Observăm, dînd drumul firului de relon, că discul nu cade.

După un interval de timp, apa pătrunde în tub, printre el şi disc (sau turnăm apă prin capătul celălalt al tubului).

Cînd nivelul apei din tub ajunge la cel din vas, presiunile se echilibrează şi discul se desprinde şi cade.

4. Vase comunicante. Pe un panou vacuumat din polistiren se află fixate vasele comunicante de diferite diametre şi forme. Fixăm panoul pe suportul de bachelită. (Fig. 4)

Turnăm apă colorată şi demonstrăm principiul vaselor comunicante

5. Pompa aspiro-respingătoare. Este formată dintr-un corp de sticlă, prevăzut cu două supape şi un piston. Pompa este fixată pe un panou

din polistiren vacuumat. Fixăm pompa în poziție verticală pe o tijă cu trepied. (Fig. 5)

Așezăm sub pompă un vas cu apă astfel ca tubul de cauciuc să intre în ea. Prin acesta pompa aspiră apa, iar prin cel lateral o respinge.

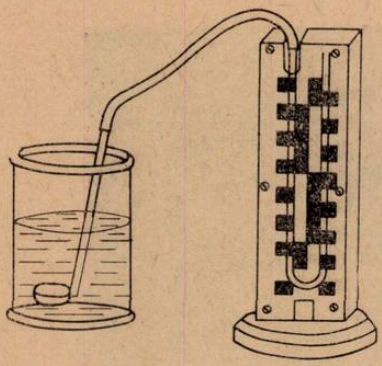


Fig. 2

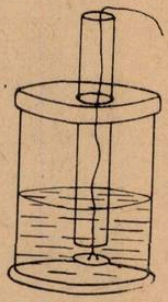


Fig. 3

6. Roți hidraulice. Cele două modele sînt : roată hidraulică acționată la partea superioară (cu cupe) și roată hidraulică acționată la partea inferioară (cu palete). (Fig. 9) Modelele sînt folosite pe rînd, la demonstrații, în aceeași carcasă de masă plastică transparentă. Pentru a nu stropi în timpul demonstrațiilor, carcasa este prevăzută cu un capac. (Fig. 7).

Corpul carcasei este așezat pe un postament de bachelită de 285 × 160 mm. Pe partea laterală are injectorul (1) folosit pentru turbina Pelton și roata cu palete, iar în partea opusă, deversorul (6).

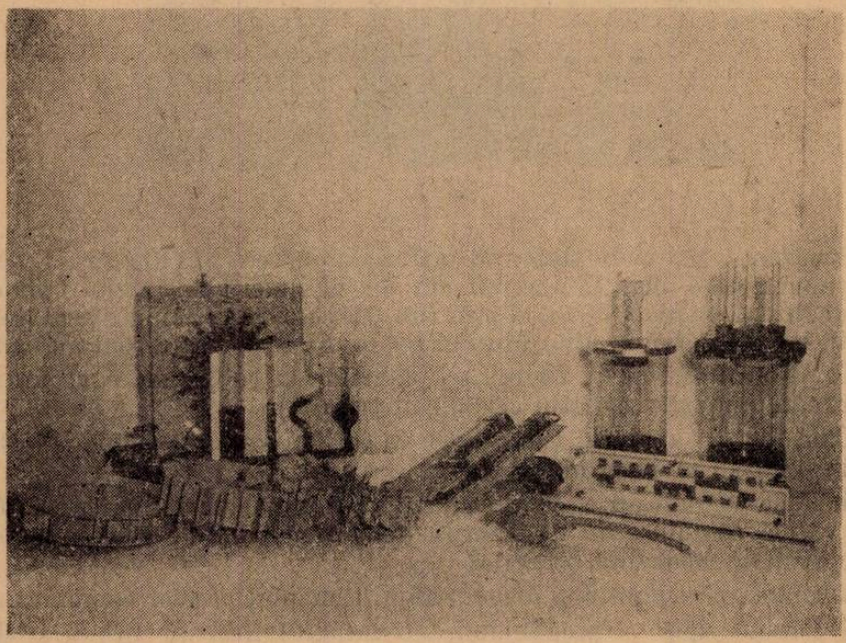


Fig. 4

În faţa injectorului se află un stăvilar (2) care la demonstrarea funcţionării turbinei Pelton se scoate, iar la roata cu palete se lasă.

În capac există un jgheab (3) cu stăvilar (5) folosit pentru demonstrarea funcţionării roţii cu cupe. Carcasa are înălţimea de 270 mm şi lăţimea 50 mm.

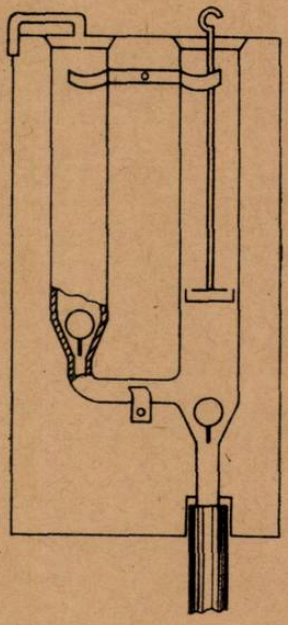


Fig. 5

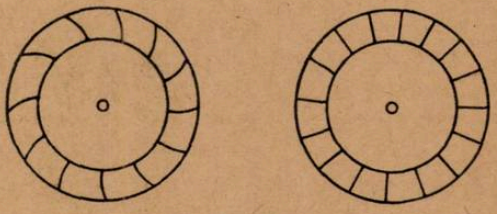


Fig. 6

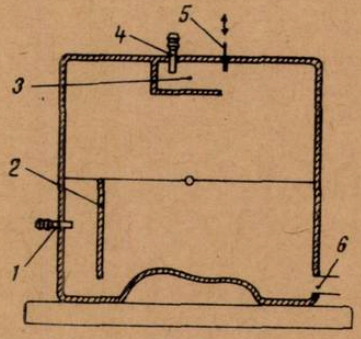


Fig. 7

Pentru demonstrarea funcţionării roţii cu cupe, se procedează în felul următor:

— se ridică capacul carcasei,

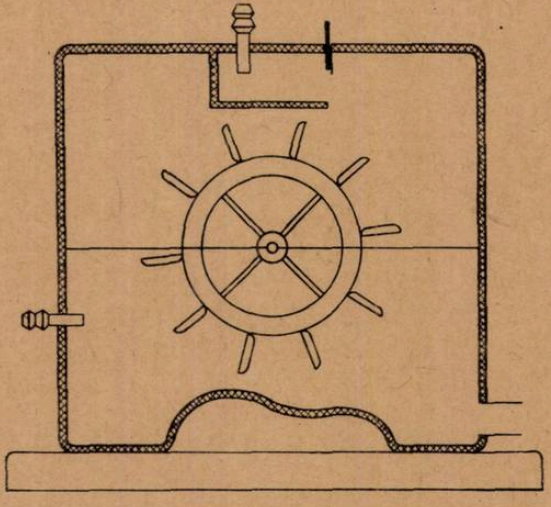


Fig. 8

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

— se așază pe lagărul din carcasă, axul roții cu roată.
— închidem carcasa cu capacul.
— montăm cordonul în ștuțul 4.

Prin ridicarea sau coborîrea stăvilarului 5 se modifică debitul de apă care acționează roata hidraulică.

Demonstrarea funcționării roții cu palete se face ca mai înainte. Furtunul se fixează la ștuțul 1. Apa intră cu presiune, se lovește de plăcuța 2 și coboară acționînd la partea inferioară, după profilul fundului vasului.

7. Turbina Pelton. Se montează ca și roțile hidraulice cu concavitatea spre jetul de apă. Se scoate plăcuța 2 și dîndu-se drumul apei, prin injectorul 1, ea acționează asupra cupelor turbinei provocînd rotația acesteia. (Fig. 8)

8. Turbina Kaplan. Are corpul din polistiren transparent prin care se vede statorul și rotorul turbinei, executate din bachelită. Lateral se află ștuțul de alimentare cu apă (la care se fixează un tub de cauciuc). Apa părăsește turbina pe la partea inferioară. Axul turbinei este continuat în exterior cu o șaibă de antrenare.

Turbina se fixează cu cleme de un trepied cu tijă, deasupra chiuvetei. În ștuțul lateral se introduce un capăt al tubului de cauciuc, iar celălalt capăt se fixează la robinet. Dînd drumul apei aceasta parcurge statorul și acționează rotorul.

I.P.I. c. 2295 Index 43459 Lei 3

SOCIETATEA DE ȘTIINȚE FIZICE ȘI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista
DE
FIZICĂ ȘI CHIMIE

SERIA A
VOLUMUL VIII

6

IUNIE 1971

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE
STR. NUFERILOR 23, SECTORUL 7 BUCUREȘTI—46 TELEFON 16.42.86

SUMAR

Pag.

Prof. *Volker Hermann*, Sibiu

1. Nomenclatura în chimia organică predată în anii III și IV ai liceului de cultură generală 201

Asist. *Olipmpia Zdrafcu*, București

2. Combinații chelate ale galiului, indiului și taliului cu reactivi organici. 206

Emilia Constantin, Cluj

3. Cîteva probleme privind teoria spectrelor de masă. 215

R. Grimberg, Iași

4. Rezonanța feromagnetică 223

I. Petre, București

5. Utilizarea ecuațiilor cu diferențe finite în cadrul metodei Hückel. 228

Asist. *Ioan Druică Zeletin*, București

6. Asupra modificării frecvenței fotonilor la deplasarea în cîmpuri gravitaționale. 237

COMITETUL DE REDACȚIE

Constantin D. Albu, lector univ.; **Teodor Bohățiel**, asist. univ., **Simion Bulgărea** prof. **Maria Codreanu**, prof.; **Andra Körner**, redactor; **Nicole Martalogu**, conf. univ. **Eleonora Mihul**, cercetător; **Ion C Moisil**, conf. univ.; **Alice Negoescu**, prof. **Ion C. Petrea**, conf. univ.; **Victor Sahini**, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România); **Elena Teodoru**, prof. redactor șef.

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

SERIA A

Volumul VIII, nr. 6 iunie 1970

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

NOMENCLATURA ÎN CHIMIA ORGANICĂ PREDATĂ ÎN ANII III ŞI IV AL LICEULUI DE CULTURĂ GENERALĂ*

Prof. *VOLKER HERMANN*, Sibiu.

Înţelegerea şi însuşirea cunoştinţelor de chimie organică se poate reduce în esenţă la trei probleme fundamentale :

1. Scrierea formulelor substanţelor studiate.
2. Denumirea acestor substanţe, adică însuşirea legăturilor între numele substanţei şi structura ei.
3. Scrierea ecuaţiilor chimice, adică sesizarea schimburilor ce au loc în structura substanţelor în decursul reacţiilor chimice.

Fiecare substanţă este caracterizată de o anumită structură chimică. Prin nomenclatura chimică se înţelege totalitatea regulilor după care se denumesc aceste structuri.

Scurt istoric al dezvoltării nomenclaturii substanţelor organice

Răspîndirea cunoştinţelor de chimie prin scriere şi vorbire a făcut necesară exprimarea structurii chimice prin cuvinte potrivite.

Iniţial, compuşii chimici organici căpătau denumiri aşa zise „comune" care erau legate fie de unele proprietăţi ale substanţei (ex. glicerina), fie de materia primă din care proveneau (ex. acid benzoic, geraniol), fie de numele descoperitorului (ex. peletierina) sau chiar alese la întîmplare (ex. acid barbituric). Aceste nume nu dau nici o indicaţie despre structura compuşilor chimici respectivi.

Încă din anul 1789 Lavoisier relevă în cartea sa „Traité élémentaire de chimie" necesitatea unui sistem de exprimare unitar. El elaborează şi primele reguli pentru denumirea substanţelor anorganice, reguli care în parte se aplică şi astăzi.

După apariţia teoriei structurii (1858—1860), chimia organică s-a dezvoltat într-un ritm rapid, iar numărul compuşilor a crescut foarte mult. A devenit astfel necesară introducerea unui sistem de nomenclatură uniform şi general, pentru a se evita ca un acelaşi compus, descoperit în mai multe laboratoare, să capete denumiri diferite.

Cazul cel mai elocvent în această direcţie este cazul anilinei, care a fost obţinută prin metode diferite de către patru chimişti diferiţi, care i-au dat cîte un nume : în 1826 chimistul Unverdorben o numeşte „Kristalin", 1834 Runge îi dă numele de „Kyanol", 1841 Fritzsche o numeşte „Anilin" (din cuvîntul „anil" — în limba arabă albastru — numele vechi comercial al portughezilor pentru indigou) iar în anul 1842 N. N. Zinin o sintetizează şi-i dă numele de „Benzidan". De-abia cîţiva ani mai tîrziu, marele chimist A. W. Hofmann a constatat că cele patru substanţe sînt de fapt una singură.

*Lucrare prezentată la Consfătuirea de la Sibiu, octombrie 1970.

Necesitatea, ca unei structuri chimice determinate să-i corespundă un nume unic era recunoscută, dar lipsa unei organizaţii internaţionale de chimie investită cu autoritatea de a lua o iniţiativă şi o hotărîre în această direcţie, a întîrziat multă vreme realizarea acestui deziderat.

Congresul internaţional de chimie de la Paris din 1889 a instituit o comisie internaţională permanentă, care urma să formuleze regulile pentru nomenclatura compuşilor organici, reguli cît mai simple şi mai generale. Propunerile comisiei au fost discutate la Conferinţa internaţională de la Geneva din 1892, la care au participat 34 chimişti din 8 ţări. Hotărîrile luate constituie ceea ce se numeşte „Nomenclatura de la Geneva" Un rol activ în lucrările acestei conferinţe l-a avut chimistul român C. I. Istrati, care a publicat şi o amplă monografie despre nomenclatura în chimia organică (C. I. Istrati : Studiu relativ la o nomenclatură generală în chimia organică).

Cu toate dificultăţile întîmpinate de Conferinţa de la Geneva, aici s-au pus bazele alcătuirii unor nume raţionale sau sistematice, care, după cum s-a exprimat F. Tiemann după congres, „să constituie formule vorbite ale compuşilor chimici". Din cauza deficienţelor nomenclaturii adoptate la Geneva, (slabă preocupare pentru compuşii aromatici, omiterea compuşilor cu funcţiuni mixte şi a combinaţiilor heterociclice) s-a continuat metoda denumirilor alese la simpla apreciere.

Problema nomenclaturii în chimia organică a fost reluată de către Uniunea internaţională de chimie pură şi aplicată, care a numit o comisie pentru reforma nomenclaturii. Lucrările comisisei au fot adoptate la Conferinţa de la Liége în 1930, constituind „Nomenclatura de la Liége". Nici de data aceasta nu s-a reuşit să se creeze o nomenclatură unitară. Cu toate progresele faţă de nomenclatura de la Geneva, se acceptă încă la multe substanţe mai multe variante în denumirea lor (la alcooli, aldehide, etc).

Nu există astăzi o nomenclatură unică a substanţelor organice, atotcuprinzătoare şi de circulaţie internaţională şi apariţia unei asemenea lucrări nu pare probabilă într-un viitor apropiat. Înlocuirea denumirilor actuale cu denumiri noi, chiar mult mai sistematice decît cele actuale, ar face inaccesibil celor neiniţiaţi în vechile reguli, bogatul material documentar acumulat în ultimile decenii.

Denumiri comune mai apar şi astăzi, şi este unanim admis că folosirea unor termeni ca : zaharoza, penicilina, chinina, contribuie mult la claritatea expunerii. Folisirea exclusivă a nomenclaturii raţionale ar îngreuna foarte mult orice expunere. De exemplu folosirea numelui raţional al acidului barbituric : 2, 4, 6-trioxi-hexahidro-pirimidină. Ar fi de neconceput a se folosi denumiri raţionale pentru medicamente sau pentru coloranţii mai complicaţi.

Nomenclatura substanţelor organice în limba română a fost studiată şi completată mai ales prin lucrările regretatului Acad. C. D. Neniţescu, care a propus folosirea unor reguli de nomenclatură cît mai apropiate de cele internaţionale şi totodată cît mai apropiate de limba română.

În general în dezvoltarea nomenclaturii se remarcă următoarele principii : nu se va schimba nomenclatura existentă decît în cazuri rare, cerute de o sistematizare mai bună ; denumirile să fie cît mai simple şi mai concise ; denumirile comune de întrebuinţare largă se vor păstra, înlocuindu-se cele mai puţin folosite (ex. spirt de lemn, acid carbolic)

Datorită acestei dezvoltări istorice, în limbajul chimic se folosesc astăzi în paralel mai multe tipuri de numiri :

1. *Numele raţional sau sistematic*, format din silabe de origine greco-latină, care au o semnificaţie structurală precisă. Ex. : pentan, ciclohexanol. Acest nume poate conţine şi cifre : 1-clorhexan.

2. *Numele comun* (*uzual*, *tehnic*) în care nici o parte nu are semnificaţie structurală. Ex : anilina.

3. *Numele semiraţional sau semisistematic* format prin combinarea unor nume comune cu părţi sistematice. Ex : metan, benzen, carbinol. De fapt, majoritatea denumirilor folosite astăzi, fac parte din această grupă.

Există posibilitatea de a reda orice structură printr-un nume raţional Cu toate acestea există — mai ales din impulsul tehnicii — tendinţa de a folosi pe o scară largă nume semiraţionale — deci şi nume comune conţinute în ele. Unii specialişti cer chiar fixarea unor reguli pentru denumiri comune şi semiraţionale. Lipsa unor asemenea reguli aduce după sine faptul că o substanţă poate fi denumită semiraţional în mai multe feluri.

Pentru a ne da seama de întrepătrunderea numirilor comune cu cele raţionale să luăm de exemplu substanţa numită în tehnică esenţă Wintergreen. Aceasta se poate numi semiraţional salicilat de metil sau o-hidroxi-benzoat de metil, pe cînd numele raţional ar fi o-hidroxi-benzen-carboxilat de metil. Din aceste patru denumiri — probabil — va dispare prima (dar astăzi se foloseşte încă), nu se va folosi cea raţională, ci una din cele două semiraţionale. Care din ele, este greu de prevăzut. Un cercetător, care se ocupă cu derivaţii acidului salicilic va prefera numele salicilat de metil, pe cînd altul care lucrează cu derivaţii acidului benzoic, va alege mai de grabă cealaltă formă.

Din cele arătate mai sus rezultă pentru şcoală sarcina de a pune un *accent egal* atît pe învăţarea denumirilor raţionale cît şi pe denumirile comune cu largă cirulaţie. Nefolosirea denumirilor comune ar îngreuna manualele şi procesul de predare, şi i-ar lipsi pe elevii actuali — viitori chimişti, ingineri, biologi, medici, etc — de înţelegerea unui număr mare de termeni comuni şi semiraţionali folosiţi în toate scrierile de specialitate şi tehnice. Pe de altă parte nu se pot neglija nici denumirile raţionale, regulile generale de denumire, necesare definirii unor substanţe care nu au nume comun.

Dacă învăţarea numelui comun al substanţelor presupune mai mult o memorare mecanică, se pot constata la mulţi elevi dificultăţi la înţelegerea şi mai les la aplicarea consecventă a regulilor de denumire raţională.

B. Incercare de sistematizare a nomenclaturii substanţelor organice

Considerînd denumirile semiraţionale ca fiind şi ele sistematice, putem calsifica denumirile, folosite astăzi, în modul următor :

I. *Denumiri sistematice* (raţionale)

1. Numele hidrocarburilor şi denumiri care conţin acest nume. Ex : 2—clorpropan, etanol.

2. Denumiri alcătuite cu ajutorul numelui radicalului (nume radicalo-funcţional, după Acad. C. D. Neniţescu) Ex. clorura de metil, etilamină

3. Denumiri derivate din numele comun al acidului carboxilic corespunzător. Ex. : acetonitril.

II. *Denumiri comune* (uzuale sau tehnice). Ex : glicerina, anilina, rezorcina, acetofenona, etc.

Din cele enumerate, problema cea mai complexă o constituie denumirile strict raționale, formulate conform regulilor nomenculturii de la Geneva și Liége. (vezi tabelul anexat)

Numele hidrocarburilor aciclice, neramificate este format din două părți : rădăcina numelui (coloana 1), care ne arată numărul atomilor de carbon din molecula respectivă, și din terminația (coloana 2), care ne arată felul legăturilor carbon-carbon. Prin combinarea celor două părți obținem numele hidrocarburilor : **met-an** (metan), **prop-enă** (propenă), **but-adienă** (butadienă), etc. Nu se aplică aceste reguli pentru hidrocarburi aromatice care poartă denumiri nerationale : benzen, toluen, naftalina, stiren, etc.

O parte dintre derivații hidrocarburilor se denumesc cu ajutorul unor prefixe (coloana 3), care ne arată felul substituentului, respectiv grupa de substanțe din care face parte. Citind din stînga spre dreapta obținem numiri ca : **clor-met-an** (clormetan), și **nitro-benzen** (nitrobenzen). Dacă molecula substanței conține mai mulți substituienți egali, numărul lor se reprezintă prin numeralul grecesc (coloana 4). Ex. **di-clor-met-an** (diclormetan). Dacă numele astfel format corespunde mai multor structuri (substanțe izomere), de exemplu dicloretan sau dinitrobenzen, este necesar de a specifica poziția acestor substituenți (coloana 5) cu ajutorul unor cifre (la catene aciclice sau ciclice), unor litere din alfabetul latin (la derivații disubstituiți ai benzenului) sau grecesc (pentru catenele laterale ale hidrocarburilor aromatice și la acizi cu funcțiuni mixte). Aplicînd aceste reguli obținem numiri exacte ca : **1,2-dicloretan, m-dinitrobenzen** sau **1,3-dinitrobenzen, α-metilstiren.**

Alți derivați ai hidrocarburilor se definesc cu ajutorul unor sufixe (coloana 3'). Ex : **et-an-ol** (etanol), **prop-an-onă** (propanonă), etc. Numărul grupelor funcționale egale se notează tot cu ajutorul numeralului grecesc (coloana 4') : **prop-an-tri-ol** (propantriol). Dacă este necesar, se specifică poziția substituientului (coloana 5') : **propanol-2.**

Se observă că numele derivaților începe sau se termină cu numele hidrocarburii de bază. Substanțele cu funcțiuni mixte se denumesc cu prefix, numele hidrocarburii și sufix. Ex : **acidul 4-hidroxi-butanoic, 1,3-dibrom-propanonă.**

Denumirile radicalo-funcționale ca alcool etilic sau dimetilcetonă sînt formate dintr-o parte radicalică (...etilic respectiv dimetil....) și o parte funcțională, caracteristică grupei de substanțe (alcool.. respectiv ...cetonă). În felul acesta se denumesc :

1. Derivații halogenați : Numele halogenurii — *numele radicalului* (clorură de *metil*)
2. Alcoolii : alcool — *numele radicalului* ic (alcool *etil*ic)
3. Eterii simetrici : eter — *numele radicalului* ic (eter *metil*ic)
4. Cetonele : *numele radicalilor*-cetonă (di*metil*cetonă)
5. Aminele : *numele radicalilor* -amină (*metil -etil-propil*-amină)

Pentru acizii organici se folosesc într-o măsură largă denumirile vechi, nesistematice : acid acetic, acid benzoic. Derivații funcționali ai acizilor se denumesc cu ajutorul acestor nume comune :

1. Aldehidele : aldehida — *numele acidului* (ca adjectiv) (aldehida *acetică*)

Obs : Pentru unele se folosește forma inversă *acet*aldehida, *ben-z*aldehida.

5	4	3	1	2	4′	3′	5′
cifre sau litere	numeral grecesc	prefix	numele hidrocarburilor: rădăcina	numele hidrocarburilor: terminaţia	numeral grecesc	sufix	cifre
poziţia substituentului	numărul substituenţilor egali	felul substituentului	numărul atomilor de carbon	felul legăturilor carbon-carbon	numărul substituenţilor egali	felul substituentului	poziţia substituenţilor
1, 2, 3,..	**di-**	**clor-**, **iod-** } derivaţi halogenaţi	**met-** 1 atom de C	**-an** legături simple	**-di-**	**-ol** alcooli	**1, 2, 3**
o, m, p,	**tri-**		**et-** 2 atomi de C	**-enă** 1 legătură dublă	**-tri-**	**-al** aldehide	
α, β	**tetra-**	**hidroxi-** {alcooli / fenoli	**prop-** 3 —„—	**-ină** 1 legătură triplă		**-onă** cetone	
			but- 4 —„—	**-dienă** 2 legături duble		**-oic** acizi	
		amino- amine	hidrocarburi aromatice:			**(carboxilic)**	
		nitro- nitroderivaţi	**benzen**				
		ciclo- catene cicl.	**toluen**				
		metil-, **etil-** } catene ramificate	**stiren**				
			naftalina				

2. Anhidridele : anhidrida — *numele acidului* (ca adjectiv) (anhidrida *ftalică*
3. Sărurile acizilor : ca sărurile anorganice cu terminaţia *-at.* (*acetat* de natriu)
4. Esterii : ca săruri ale radicalilor (*acetat* de etil)
5. Amidele : *rădăcina numelui acidului* -amidă (*acetamidă)*
6. Nitrilii : *rădăcina numelui acidului -o*-nitril (*acrilo*nitril)

Se observă că cele mai multe grupe de substanţe se pot denumi raţional în două feluri, la care se mai adaugă uneori o denumire uzuală (nume comun). Ex : propanonă — dimetilcetonă — acetonă. Nu există o regulă) care să stabilească care din aceste denumiri se va folosi cu precădere. Doar practica vorbită şi scrisă alege în decursul anilor una din aceste denumiri.

Pentru dobîndirea dexterităţii în aplicarea nomenclaturii în chimia organică este necesar de a efectua multe exerciţii care pot fi de mai multe feluri : Scrierea formulei unui compus cunoscînd numele lui ; Denumirea unei substanţe cunoscînd structura ei ; Exerciţii combinate : Nume — formula — nume.

Ex. Acetofenona→CH_3-CO-CH_3→metil-fenil-cetonă
Propanol-2→CH_3-CHOH-CH_3→alcool izopropilic.

BIBLIOGRAFIE :

1. *C. D. Nenițescu* „Nomenclatura chimiei organice" Ed. tehnică 1960
2. Revista de fizică şi chimie Seria B Nr 1 anul 1968

COMBINAŢII CHELATE ALE GALIULUI, INDIULUI ŞI TALIULUI CU REACTIVI ORGANICI

Chelaţi metalici conţinînd liganzi cu atomi donori de oxigen.

Asistent *OLIMPIA ZDRAFCU* I. P. B.

În lucrarea anterioară [1] am arătat proprietatea acestor elemente de a forma chelaţi metalici cu o serie de reactivi organici, liganzi cu atomi donori de azot.

Această proprietate se manifestă şi faţă de alţi reactivi organici cu diferiţi atomi donori, în special cu cei cu atomi donor de oxigen.

Diversitatea mare a acestor chelaţi metalici precum şi multiplele posibilităţi de obţinere le conferă acestor compuşi un rol important în chimia galiului, indiului şi taliului.

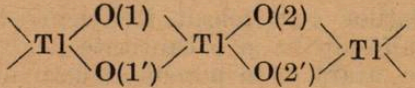
1. *Combinaţii complexe chelate cu aldehide*

Grupa carbonil a aldehidelor posedă proprietăţi donore slabe, formînd legături coordinative slabe cu metalele.

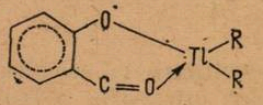
Dialkiltaliu formează cu salicilaldehida un compus chelat stabil, care a fost izolat în stare solidă, cristalină [2]. Fiecare atom de taliu este hexacoordinat prin două grupe etil oarecare cu legătura Tl-C egală cu 2,17 $\pm$ 0,02 Å şi este chelat de un radical salicitaldehidă prin doi atomi

de oxigen cu legătura Tl-O (1) de 2,46 ± 0,02 Å şi Tl-O (2) de 2,61 ± 0,02 Å şi de doi atomi de oxigen aparţinînd la alt chelat de taliu cu legătura Tl-O (1') de 2,65 ± 0,02 Å şi Tl-O (2') de 3,15 ± 0,02 Å.

În acest fel se formează un lanţ polimer infinit, rotit în cristal de-a lungul axei c; lanţul conţine inele centrosimetrice de patru membri:



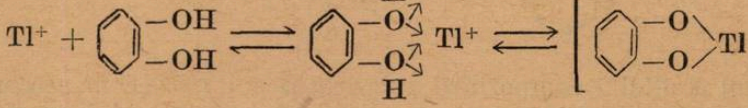
formate alterantiv din atomi de oxigen fenolic O(1) şi aldehidic O(2). Comportarea compusului în soluţie sugerează că toate legăturile Tl—O sînt uşor rupte; în cloroform există o mare proporţie de monomer presupus tetracoordinat, pe cînd în apă se formează ionul hidratat TlR_2^+:



Ionul TlR_2^+ este izoelectronic cu molecula HgR_2 şi se aşteaptă deci o configuraţie strict liniară.

2. *Combinaţii complexe cu polifenoli*

Dintre polifenoli pirocatehina este cunoscută ca un ligand bidentat puternic. Chelarea ionului talos cu catechină a fost studiată prin metoda titrării potenţiometrice şi conductometrice (3): Ionul talos s-a considerat tetracoordinat, legătura făcîndu-se conform unei hibridizări p^3d.

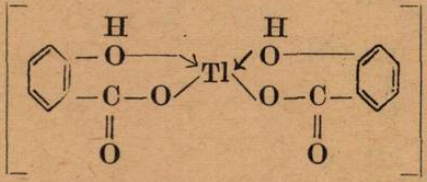


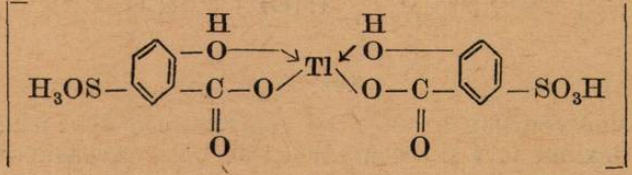
Ca un rezultat al hibridizării p^3d, poziţiile cele mai probabile ale celor patru grupe coordinate vor fi la colţurile bazei unei piramide tetragonale cu atomul central în vîrful piramidei.

3. *Combinaţii complexe cu acizi organici*

Taliul (III) formează combinaţii di şi trichelate cu acidul salicilic şi sulfosalicilic [4]

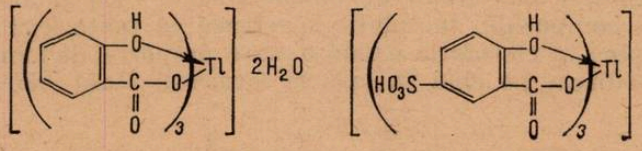
Iniţial se formează complecşi de tipul $H_3\ Tl(AA)_3$ (unde A—A ligand bidentat) însă în timpul procesului cristalizării se izolează un dihidroxiacvo chelat insolubil. Pentru complecşii bichelaţi s-au propus structurile:





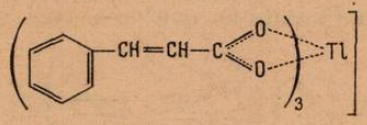
Determinarea echivalentului de neutralizare a acestor complecşi a arătat că pentru titrarea complexului sulfosalicilic s-au folosit 2 echivalenţi de bază şi o cantitate neglijabilă pentru complexul salicilic. Aceasta arată că hidrogenul fenolic nu este titrabil în aceşti complecşi, cei doi echivalenţi folosiţi pentru complexul sulfosalicilic sînt pentru hidrogenul din grupa sulfonică.

În cazul trichelaţilor s-au folosit trei echivalenţi alcalini pentru compusul cu acidul sulfosalicilic şi o cantitate neglijabilă pentru cel cu acidul salicilic, ceea ce, arată că ei posedă structurile :



Date suplimentare referitoare la structura acestor complecşi s-au obţinut cu ajutorul spectrelor infraroşu. Astfel s-a pus în evidenţă legătura de hidrogen prin deplasarea negativă a frecvenţei oscilaţiei carbonil, ceea ce indică că hidrogenul fenolic este înlăturat prin disociere. Benzile suplimentare care apar în spectrul complecşilor se datorează apei coordinate.

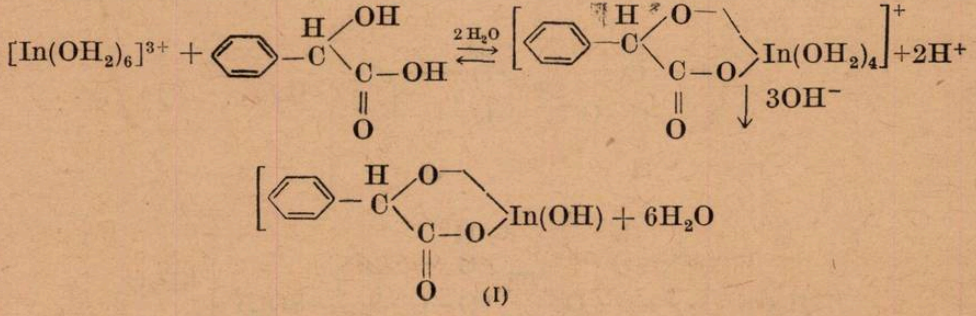
Taliul (III) formează complecşi şi cu acidul cinamic cu un raport M :L (metal-ligand) de 1 :3 avînd următoarea structură [5] :



În timpul studiului comportării polarografice a In(III) în prezenţa diferiţilor acizi organici, s-a observat că indiul formează cu acidul mandelic un complex cu raportul In : acid de 1 :3. Mai tîrziu prin studii de pH şi conductometrice [6] s-a constatat că în soluţie se formează 3 chelaţi cu raportul metal-ligand de 1 :1, 1 :2 şi 1 :3 ; cel mai stabil fiind cel 1 : 3 care a fost izolat în stare solidă.

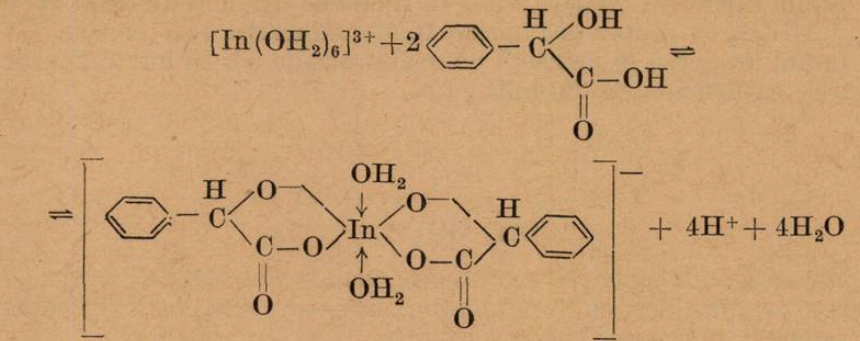
Datele experimentale pot fi explicate presupunînd că se formează un chelat nestabil 1 : 1 care hidrolizează repede la un mandelat — mediu bazic.

Reacţiile care au loc pot fi reprezentate prin ecuaţiile :

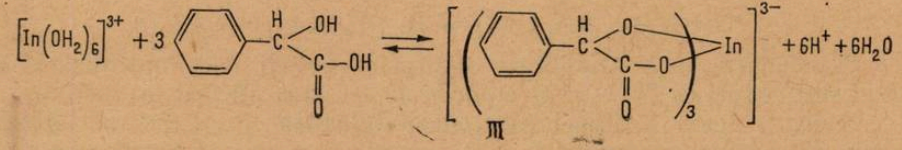


Titrările amestecurilor 1 : 2, 1 : 3 reprezentate de curbele C şi D, fig. 1 arată o inflexiune la 4 şi 6 echivalenţi de bază. Aceasta corespunde

la formarea complecşilor cu raportul M : L de 1 : 2 şi 1 : 3 reprezentată prin ecuaţiile :



II



III

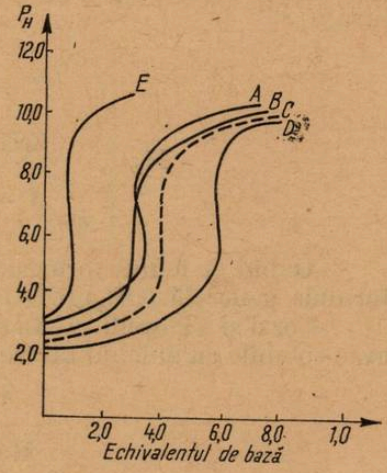
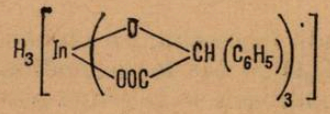
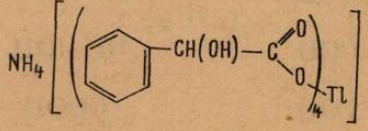


Fig. 1 — Variaţia concentraţiei ionilor H^+ cu adăugarea progresivă de bază la sisteme variate.

S-a constatat de asemenea că compusul III este de fapt un acid limită cu următoarea structură :



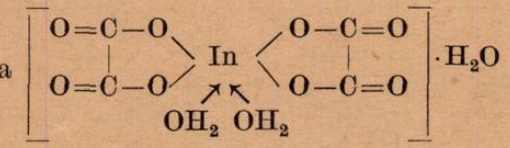
Sărurile de amoniu ale taliului (III) formează cu acidul mandelic la pH 2,5 un compus cu următoarea structură : [5]



Galiu, indiu, taliu formează chelaţi şi cu unii acizi di şi policarboxilici.

Galiul formează oxalaţi dubli cu metalele alcaline de tipul M_3 [Ga $(C_2O_4)_3$]. $3H_2O$, cu proprietăţi optice, fiind combinaţii optic active.

Indiul formează în prezenţă de oxalat alcalin săruri mixte în cristale octaedrice cu următoarea formulă : [7]



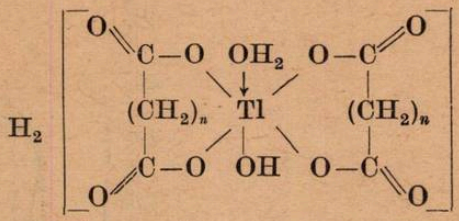
Deoarece numerele de coordinaţie uzuale ale taliului sînt 4 şi 6, formarea complecşilor cu acizii carboxilici care sînt liganzi bidentaţi (AA) poate fi prezentată după schemele :

$$Tl(OH)_3 + 2H_2(AA) \rightarrow H_3[Tl(AA_2)] + 3H_2O$$

$$Tl(OH)_3 + 3H_2(AA) \rightarrow H_3[Tl(AA)_3] + 3H_2O$$

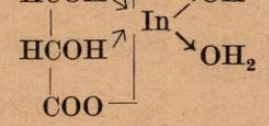
Trichelaţii au o stabilitate redusă şi pot fi uşor hidrolizaţi, unii din ei sînt reduşi la Tl (I) şi încercările de a-i izola au fost fără succes.

Natura acidă a dichelaţilor, insolubilitatea lor, neextractibilitatea în solvenţi orgnici sugerează că sînt octaedrici şi posedă următarea structură : [8].

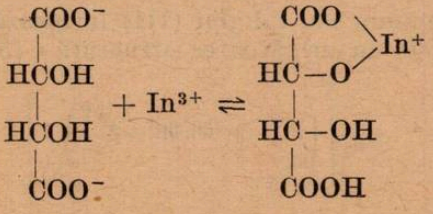


Galiul şi indiul formează compuşi cu acidul azelaic, sebacic avînd formula generală $(CH_2)_x(COO)_2M(OH)\cdot(x = 4,78)$.

Cozzi şi Vivarelli [9] au sesizat că ionul de indiu formează combinaţii greu solubile cu anionul tartric, căruia i-au dat o formulare de sare bazică.



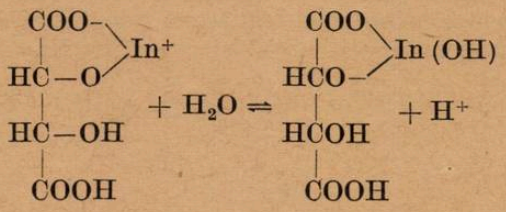
Mai tîrziu prin studii fizico-chimice s-a constatat că această interacţie a ionului $In^{3\times}$ cu $C_4H_4O_6^{2-}$ are loc o modificare de pH ceea ce arată că se eliberează ioni de hidrogen de la grupa hidroxilică



a)

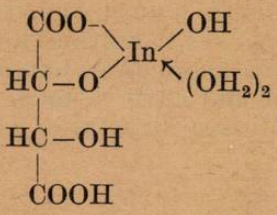
Ionul de hidrogen eliberat din funcţia hidroxilică serveşte la autoaciditatea funcţiei carboxilice.

De la compusul (a) la produsul final se poate ajunge, fie prin tratare cu încă un mol de tartrat, fie prin hidroliză :



Acest compus este insolubil în apă şi este considerat ca un acid indiu-tartric, care suferă în continuare racţia de hidroliză pînă la precipitarea $In(OH)_3$. Se presupune că această trecere are loc prin intermediul unor compuşi polinucleari.

Soţii Bednar [10] au dat formularea posibilă a compusului în stare solidă.



Această formulare justifică denumirea de acid indiu-tartric.

S-a constatat că în faza solidă are o compoziţie variabilă în funcţie de concentraţia anionului tartric. Stabilitatea termică a compusului s-a cercetat cu ajutorul unei termobalanţe şi a unui derivatograf.

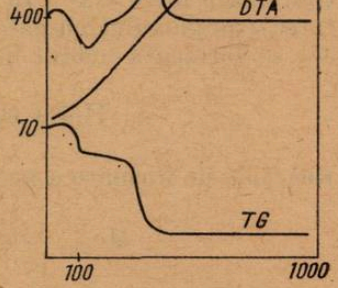


Fig. 2 — Derivatograma acidului In-tartric.

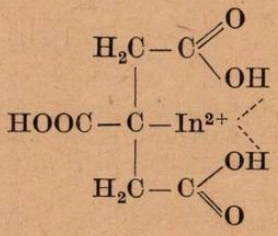
Pierderea apei se face între 90—180° iar carbonizarea se produce la 360°, pierderea în greutate are loc între 350—450°C.

S-a constatat de asemenea că la pH 3,5 indiul şi galiul reacţionează cu acidul citric cu eliminarea a 4 ioni de hidrogen. [11]

Prin metoda spectroscopică s-au stabilit direct legăturile prezente între metal şi grupa funcţională.

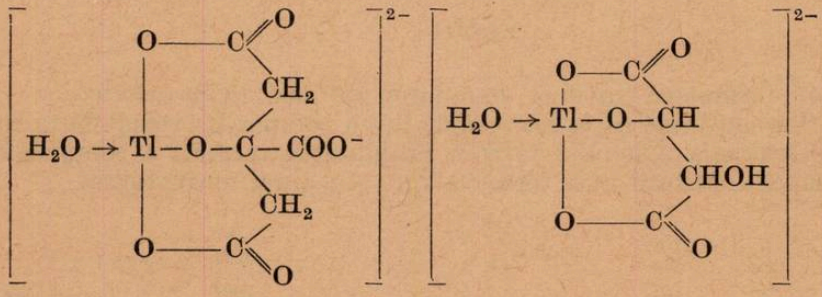
Din spectrul de absorbţie în infraroşu al acidului citric rezultă că în timp ce două grupe carboxilice realizează o legătură de hidrogen intramoleculară, a treia grupă carboxilică şi cea hidroxilică reprezintă grupe funcţionale libere.

Complexul indiu-citric conţine două cicluri de 6 elemente ;



Formarea acestor chelaţi a fost studiată folosind tehnica polarografică, interpretîndu-se scăderea curentului de difuzie ca datorată hidrolizei şi sugerîndu-se formarea unor chelaţi binucleari ireductibili.

Taliul formează cu acidul citric şi tatric complecşi numai în stare monovalentă, avînd următoarea structură : [12]



Galiul şi indiul formează combinaţii complexe şi cu unii hidroxiacizi, ca de exemplu acidul gluconic şi zaharic [13].

Prin metoda extracţiei în soluţia alcalină s-a dedus că raportul de combinare între Ga^{3+}, In^{+3} şi gluconatul alcalin este 1 : 1 şi că stabilitatea complexului cu galiu este mai mare decît cel cu indiul. La un pH 3,4 se formează acidul metalo-gluconic :

$$H[Ga\ C_6H_8O_7] \text{ şi } H[In\ C_6H_8O_7 \cdot 3H_2O]$$

Reacţiile de formare a acestor complecşi se exprimă prin ecuaţiile :

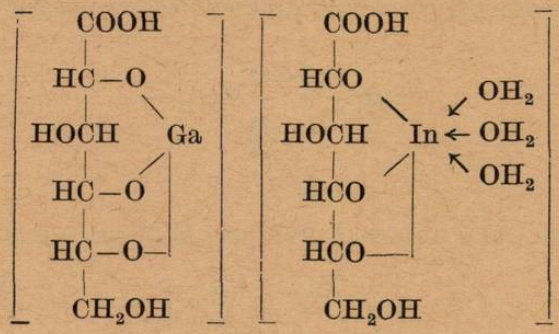
$$MeX_3 + C_6H_{12}O_7 = H[MeC_6H_8O_7] + 3HX$$

În toate combinaţiile sintetizate, hidrogenul corespunzător pentru cele trei molecule de acid HX, provine de la 3 grupe hidroxilice substituite cu ionul metalic.

Între gluconatul de potasiu și ionii Ga^{3+} și In^{3+} în mediu alcalin are loc reacția :

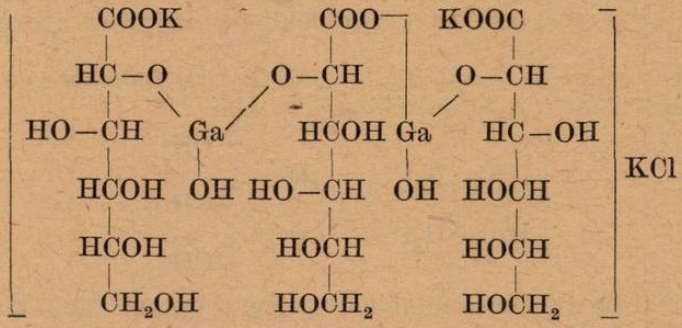
$$GaCl_3 + KC_6H_{11}O_7 + 3\,KOH = K[GaC_6H_8O_7]\,H_2O + 3\,KCl + 2\,H_2O$$

Formulele structurale ale acestor compuși sînt :



Conform structurilor propuse, ionul M^{3+} este mai puțin probabil să substituie grupele hidroxilice 2, 3, 4, decît 2, 4, 5.

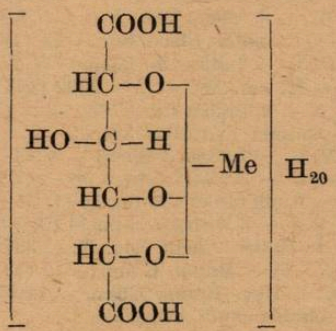
Prin adăugare de alcool la un pH = 8 peste un amestec 3 : 1 de gluconat de potasiu și $GaCl_3$, se separă un produs cu următoarea compoziție : $K_2\,[(GaOH)_2\,(C_6K_{10}0_7)_3]$ KCl și o structură de forma :



În aceleași condiții se formează compusul cu indiu cu aceeași structură.

Complecșii galiului și indiului cu acidul zaharic [14] sînt mai stabili în stare solidă decît cei cu acidul gluconic.

Complecșii sînt de forma :



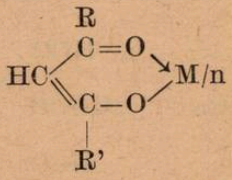
Me = Ga, In (III)

Se consideră că metalul substituie hidrogenul din pozițiile

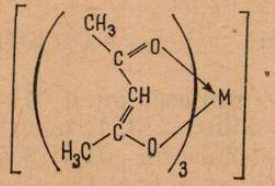
$$\alpha,\ \gamma,\ \sigma.$$

4. *Combinații complexe cu β-dicetone*

Acetilacetona, cea mai simplă β-dicetonă este un ligand bidentat cu atomi donori de oxigen care formează cicluri chelate de 6 membri:



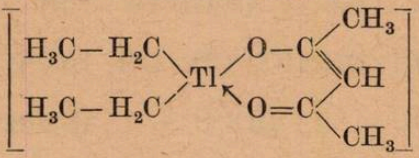
Galiu, indiu, taliu formează acetilacetonați complecși de forma: [15]



M=Ga, In, Tl

Acestea sînt substanțe solide, cristaline cu o structură octaedrică. Taliul formează acetilacetonați complecși neutri în stare monovalentă și cu alți derivați ai ei cum ar fi: propionil-acetonatul, benzoilacetonatul, etc.

Dietilectoxidul de taliu, $(C_2H_5)_2\ OTlOC_2\ O_5$ formează cu acetilacetona un chelat neutru care hidrolizează în apă:



Combinațiile dicetinice solubile în solvenți organici au o mare importanță în calitate de reactiv pentru determinarea ionilor metalici prin metodele de extracție lichid-lichid. Deși acest tip de combinații au început să fie studiate abia în ultima vreme, ele ridică interesante probleme teoretice de structură și de cinetică chimică.

BIBLIOGRAFIE

1. *Zdrafcu O.* — Rev. fizică-chimie A — 7(1970) 258.
2. *Hilburn H. W.* — J. Chem Soc. A — 4 — 648 (1967).
3. *Ianor O. S.* — J. Indian Chem Soc — 43 (4) 253 (1966).
4. *Aggardwalt R. C.* — Indian J. Chem — 5 (3) 4 (1967).
5. *Cozzi Rospi* — R. cer. Sci — 27 — 2392 (1957).
6. *Srivastra R. N* — J Indian Chem Soc — 43 (4) 240 (1966)
7. *Ripan R.* — Chimia metalelor vol. I.
8. *Aggardwalt R. C.* — Indian J Chem — 3 (11) 494 (1965).
9. *Cozzi — Vivarelli* — Z Electrochem 58—907 (1957).
10. *Bednar V.* — Studii și Cerc. chim. 16 (1) 15 (1968).
11. *Timmergakl V A* — Z Neorgan. kim 11 (7) 1016 (1966).
12. *Poni-Dos* — J. Indian Chem Soc. 32 — 337 (1955).
13. *Macarovici C* — Rev. Roum. Chim. — 12 (8) 975 (1967).
14. *Macarovici C.* — Rev. Roum. Chim. — 14 (9) 1113 (1969).
15. *Spacu P.* — Chimia comb. complexe.

CÎTEVA PROBLEME PRIVIND TEORIA SPECTRELOR DE MASA

EMILIA CONSTANTIN
Universitatea Babeș-Bolyai Cluj, Catedra de Fizică

Introducere

Dacă o moleculă este ciocnită de un electron sau o particulă care are o energie mai mare decît energia necesară ionizării ei, rezultatul ciocnirii este fie simpla ionizare, fie ionizarea însoțită de desfacerea moleculei în două fragmente, unul neutru, celălalt cu sarcină. Schema de disociere este simplă în cazul moleculei diatomice și mai complicată la o moleculă poliatomică, care se poate descompune în mai multe moduri, rezultatul disocierii fiind apariția a diferite fragmente ionice și neutre.

Schema de disociere și abundența diferitelor fragmente depind în general de energia particulei bobardante, dar există un domeniu pentru care ele devin independente de energie. Pentru electroni acest domeniu începe la aproximativ 50 eV. Teoria și rezultatele experimentale, în marea lor majoritate, arată că schema de fragmentare este independentă de natura particulei bombardante (1,3), cu condiția ca viteza acesteia să fie cel puțin de 4 ori viteza electronului ce se smulge.

Identificarea produșilor de disociere privește numai fragmentele ionizate avînd o viață medie mai mare decît 10^{-6} sec și se face prin tehnica spectrometriei de masă. În cazul cel mai simplu, ionii produși în sursa de ioni S, sînt extrași de aici cu ajutorul unui cîmp electric convenabil ales, sînt accelerați în domeniul A, apoi intră în domeniul M unde sînt separați după valoarea masei m. Variind energia ionilor în domeniul A sau intensitatea cîmpului magnetic, ionii sînt aduși succesiv la colectorul C, impulsul înregistrat aci definind abundența ionilor captați. Prin determinarea succesivă a abundenței tuturor ionilor se stabilește spectrul de masă al substanței, care reflectă procesele de fragmentare ale moleculei considerate.

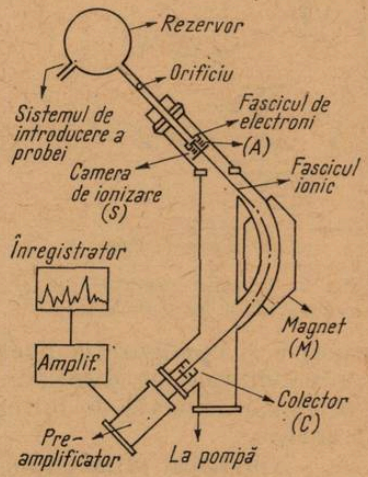


Fig. 1. Schema unui spectrometru de masă cu analizor magnetic

În cele ce urmează vom face o prezentare a teoriilor elaborate pentru fragmentarea moleculelor di și poliatomice. Aceste teorii fiind bazate pe studiul spectrelor de masă se mai numesc și teorii ale spectrelor de masă.

Teoria fragmentării sau teoria spectrelor de masă

Dezvoltarea teoriei s-a făcut pe mai multe căi în funcție de complexitatea moleculei.

Astfel, la molecule diatomice considerațiile teoretice se bazează pe aplicarea principiului Franck-Condon (3,4) : la ciocnirea moleculei cu electronul are loc îndepărtarea unui sau a mai mulți electroni de către

electronul incident şi excitarea eventuală a electronilor rămaşi. Procesul se produce într-un interval de timp foarte scurt şi nucleele atomice nu au timp să-şi modifice poziţiile. Procesul este adiabatic, tranziţia este verticală, iar modificările din învelişul electronic sînt resimţite de nuclee doar prin variaţia cîmpului electric în care se găsesc. Pe fig. 2 sînt trasate curbele de potenţial pentru starea fundamentală a moleculei XY şi două stări ale ionului format, XY^+. Diferitele tranziţii figurate arată că ionul molecular se poate forma în starea fundamentală de vibraţie (a) sau cu o anumită energie de vibraţie (b). Disocierea are loc numai atunci cînd

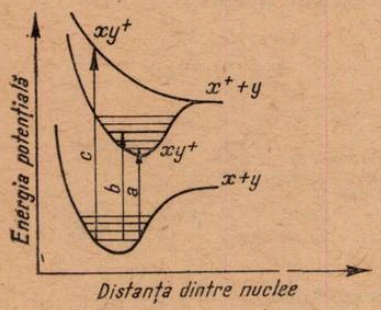


Fig. 2. Tranziţii verticale de la moleculă la ionul molecular

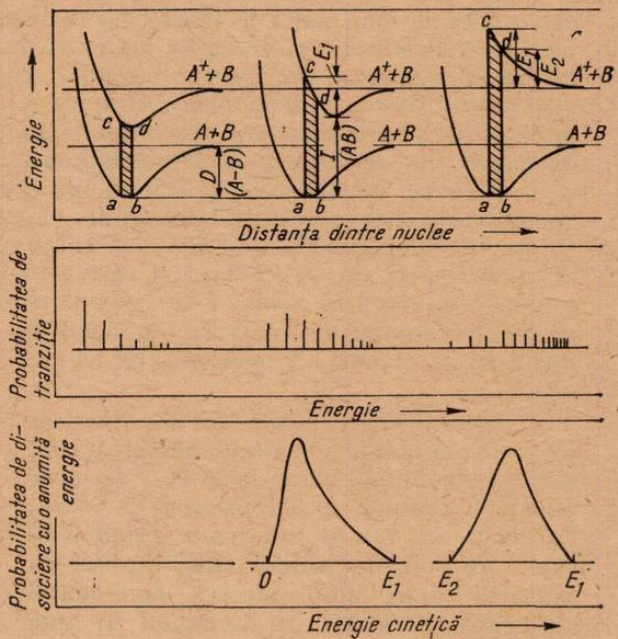


Fig. 3. Energia şi probabilitatea de tranziţie pentru diferite curbe de potenţial.

energia şi configuraţia nucleelor o permit (c). Pe fig. 3 se poate urmări probabilitatea de disociere cu o anumită energie cinetică pentru ionii formaţi, în funcţie de forma curbei de potenţial a stării în care se face tranziţia.

Aplicarea principiului Franck-Condon impune cunoaşterea curbelor de potenţial a stărilor electronice şi de vibraţie pentru moleculă şi ionul molecular; spectrul de masă cere de asemenea cunoaşterea probabilităţii diferitelor tranziţii. Numărul mic de cazuri pentru care sînt stabilite aceste elemente justifică numărul restrîns de calcule care s-au efectuat. Cazul cel mai simplu îl prezintă molecula de hidrogen la care s-a obţinut o bună concordanţă cu rezultatele experimentale. Astfel, dacă energia electronilor este sub 15,4 eV, moleculele nu se ionizează. Între 15,4 şi 18 eV se produce ionul molecular H_2^+ în starea $^2\Sigma_g^+$. Dacă energia creşte peste 18 eV ionii moleculari apar tot în stare $^2\Sigma_g^+$, dar are loc şi disocierea lor în H^+ şi H. La energii peste 27 eV ei apar în starea repulsivă, antisimetrică $^2\Sigma_u^+$ şi disociază imediat. Dacă energia continuă să crească, ionii moleculari se pot forma şi în alte stări excitate, toate repulsive. Ei disociază imediat, iar H şi H^+ apar în stări excitate. Probabilitatea rela-

tivă a acestor procese este independentă de energia electronilor, dacă aceasta depăşeşte cu 25—50% energia de ionizare.

Ionizarea şi disocierea moleculelor poliatomice mici, cu o simetrie mare, se poate trata într-o manieră asemănătoare. (3,5) Cunoscîndu-se geometria şi formula posibilă pentru orbitalii moleculari, prin aplicarea principiului Franck-Condon, se poate stabili în care stări electronice şi de vibraţie se formează ionii moleculari, la impactul cu electroni de energie cunoscută. Pe această cale s-a studiat spectrul de masă la metan (5, 6, 7, 8).

Necunoaşterea stărilor electronice şi de vibraţie la moleculele poliatomice mari face imposibilă utilizarea unei metode de genul prezentat. În cazul lor densitatea mare a stărilor energetice a permis elaborarea unei metode statistice (4, 9) de care ne vom ocupa în cele ce urmează.

Teoria statistică a spectrelor de masă, numită teorie de quasiechilibru, are la bază două ipoteze:

1. Conform primei ipoteze elaborată în 1950 de Wallenstein (4) formarea spectrului de masă începe prin apariţia ionului molecular ca rezultat a unei tranziţii Frank-Condon, indusă de electronul incident. Ionul molecular nu apare obişnuit în starea fundamentală dat fiind că energia electronilor ionizanţi depăşeşte cu mult pragul de ionizare al moleculei. El posedă o anumită energie de excitare distribuită pe gradele de libertate electronice şi de vibraţie. Caracteristica principală a procesului constă în faptul că această energie de excitare nu rămîne localizată în orbitalul sau legătura de la care s-a îndepărtat electronul ci se redistribuie pe legăturile existente concentrîndu-se la un moment dat asupra unei legături. Redistribuirea are loc în mod cu totul întîmplător, iar descompunerea are loc atunci cînd nucleele atomice au configuraţia corespunzătoare disocierii şi energia de vibraţie pe unul din gradele de libertate este egală sau mai mare decît energia de disociere. Ionul molecular poate astfel disocia pe mai multe căi concurente, realizarea uneia sau alteia dintre ele depinzînd de probabilitatea acumulării energiei pe legătura respectivă. De exemplu, în cazul metanului, ionul molecular se poate descompune prin 6 reacţii concurente:

$$CH_4^+ \leftarrow CH_3^+ + H \qquad (a)$$

$$\leftarrow CH_2^+ + H_2(2H) \qquad (b)$$

$$\leftarrow CH^+ + H_2 + H(3H) \qquad (c)$$

$$\leftarrow C^+ + 2H_2\,(4H) \qquad (d)$$

$$\leftarrow H_2^+ + CH_2 \qquad (e)$$

$$\leftarrow H^+ + CH_3 \qquad (f)$$

Din disocierea ionului molecular rezultă o serie de ioni primari, cu o stabilitate mai mare sau mai mică, în funcţie de energia de excitare primită la formare. Descompunerea acestora în ioni secundari, a secundarilor în terţiari etc., se face tot prin reacţii concurente avînd anumite probabilităţi de realizare. Denumind „ion părinte" orice tip de ion care suferă o descompunere, în conformitate cu prima ipoteză spectrul de masă apare ca rezultat al reacţiilor unimoleculare de disociere a ionilor părinte.

2. Cel de al doilea postulat admite că, pentru fiecare reacţie în parte se poate calcula viteza de reacţie folosindu-se o formă adecvată a

teoriei vitezei absolute de reacție. Cu alte cuvinte, viteza de descompunere a ionilor părinte este proporțională cu concentrația complexului activat pentru reacția respectivă și cu viteza medie de descompunere a complexului.

Noțiunea de complex activat comportă în cazul de față anumite precizări. El se identifcă cu ionul părinte aflat în starea imediat premergătoare disocierii. Cu alte cuvinte complexul are o energie potențială egală cu energia de activare a reacției considerate și o configurație care-i permite disocierea în modul corespunzător reacției. În exemplul dat, al ionilor CH_4^+, disocierea decurgînd pe 6 căi concurente vor exista 6 tipuri de complecși activați, caracterizat fiecare printr-o anumită valoare a energiei de activare și o anumită configurație a nucleelor. Ionii care nu au energia concentrată pe o anumită legătură sau au o configurație nefavorabilă disocierii deși sînt excitați, nu sînt în starea de complex activat. Ei se cuprind în denumirea generală de ioni reactanți și formează masa de ioni care generează complecșii.

Pornind de la aceste ipoteze teoria quasiechilibrului stabilește formula de calcul pentru abundența, fragmentelor ionice apărute în spectrul de masă. Etapele intermediare în deducerea formulei sînt determinarea concentrației complecșilor activați și determinarea vitezei lor de descompunere.

Complecșii activați reprezentînd stări cuantice speciale ale ionilor reactanți, concentrația lor va fi dictată de numărul căilor de realizare a acestor stări; pot exista atîția ioni complecși activați cîte stări cuantice sînt posibile pentru ei, sau, fracția de ioni în starea de complex va fie gală cu fracția de stări cuantice de complex activat. Pentru găsirea acestei fracții se admite că densitatea stărilor energetice a moleculelor poliatomice este suficient de mare pentru a fi redată de o funcție continuă de distribuție $\rho\ (E)$. În această ipoteză, numărul ionilor reactanți avînd energia cuprinsă între E și $E + dE$ va fi $\rho\ (E)\ dE$, iar umărul complecșilor activați $\rho^*(E)\ dE$. Existența unei configurații speciale a nucleelor la disociere se indică prin valoarea particulară a energiei cinetice e_t și potențiale e_0, corespunzătoare legăturii care se desface, adică coordonatei de reacție: $\rho^*(E,\ e_t\ e_0)\ dE$ (pentru analogie se poate consulta fig. 3). Considerînd că energia cinetică se poate reda tot printr-o funcție continuă, numărul de ioni în starea de complex activat va fi:

$$n\ (e_t) = \rho^*\ (E,\ e_t,\ e_0)\ \rho\ (e_t)\ dE\ de_t$$

iar fracția stărilor de complex activat, se va exprima prin:

$$N\ (e_t) = \frac{n\ (e_t)}{\rho\ (E)\ dE} = \frac{\rho^*(E,\ e_t,\ e_0)\ \rho\ (e_t)\ dE\ de_t}{\rho(E)\ dE}$$

Constanta de viteză pentru descompunerea complecșilor cu energia cinetică din coordonata de reacție cuprinsă între e_t și $e_t + de_t$, este dată de produsul dintre fracția $N(e_t)$ și viteza $r(e_t)$, de trecere a complecșilor activați peste bariera de potențial corespunzătoare reacției:

$$K(e_t)\ de_t = N\ (e_t)\ r\ (e_t)$$

Constanta totală de reacție se va obține integrînd pentru toate valorile posibile ale energiei de translație e_t, între limitele zero și $E - E_0$

E fiind energia de excitare a ionului, iar E_0 energia de activare a reacţiei :

$$K = \int_0^{E-E_0} k(e_t)\, de_t$$

Pentru a găsi $\rho(e_t)$ şi viteza de traversare a barierei se consideră valorile proprii pentru a particulă aflată într-o cutie cu lungimea L, L fiind chiar coordonata de reacţie. Se obţine :

$$\rho(e_t) = \frac{dn_t}{de_t} = \frac{1}{h}\sqrt{\frac{2\mu}{e_t}}$$

$$r(e_t) = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{2e_t}{\mu}}$$

unde μ este masa redusă a particulelor apărute din reacţie. Introducînd pe $\rho(e_t)$ şi $r(e_t)$ în expresia integrală a lui K, aceasta ia forma :

$$K = \int_0^{E-E_0} \frac{\rho^*(E, e_t, e_0)}{\rho(E)} \frac{1}{h}\, de_t$$

care arată că determinarea constantei de viteză revine de fapt la determinarea formei funcţiilor de densitate a stărilor cuantice pentru ionii reactanţi şi complecşii activaţi.

Stabilirea acestor funcţii se face introducînd o serie de ipoteze simplificatoare. Se presupune astfel că funcţia de densitate a stărilor electronice pentru un ion oarecare este identică cu funcţia complexului activat format din el. Se admite de asemeni că mişcarea nucleelor decurge în acelaşi mod la ionii reactanţi şi la complecşii activaţi, cu excepţia coordonatei de reacţie. În cazul cel mai simplu această mişcare se reduce la vibraţia nucleelor, fiecare dintre ionii reactanţi imaginîndu-se ca un sistem de N oscilatori armonici avînd frecvenţele de oscilaţie ν_i, şi energia totală de vibraţie mai mică decît E_0. La complexul activat unul dintre gradele de libertate de vibraţie se transformă în translaţie de-a lungul coordonatei de reacţie şi o parte din energia de vibraţie este convertită în energie de translaţie. Astfel spus, complexul are numai $N-1$ oscilatori cu energia totală de vibraţie $E_0 < E_0'$. În această aproximaţie constanta de viteză ia forma :

$$K(E) = \left(\frac{(E-E_0}{E}\right)^{N-1} \prod_1^N \nu_j \Big/ \prod_1^{N-1} \nu_j^*$$

ν_i^* referindu-se la complex. Într-o tratare mai completă, se introduce şi rotaţia nucleelor, considerîndu-se molecula alcătuită sin $N-L$ oscilatori armonici şi L rotatori interni, iar complexul un sistem de $N-L^*$ oscilatori şi L^* ratatori. Se găseşte pentru constanta K expresia :

$$K = Z\left(\frac{E-E_0}{E}\right)^{\left(N-\frac{L}{2}-1\right)} (E-E_0)^q ; \quad q = \frac{1}{2}(L^* - L)$$

$$Z = 2^q \pi^{3q} \frac{\Gamma\left(N-\frac{L}{2}\right) \prod_1^{L^*} I_f^{*1/2} \prod_{L+1}^{N} \nu_j}{\Gamma\left(N-\frac{L^*}{2}\right) \prod_1^{L} I_i^{[2} \prod_{L^*+1}^{N-1} \nu_g^*}$$

în care I este momentul de inerţie, iar ν_i frecvenţa de vibraţie. Luînd în considerare degenerescenţa nivelelor de rotaţie şi efectul simetriei, Z se modifică sub forma :

$$Z = \tau (2\pi)^{3q} \frac{\Gamma\left(N - \frac{L}{2}\right) \prod_{1}^{L^*} \frac{I_f^{*1/2}}{n_f^*} \prod_{L+1}^{N} \nu_j}{\Gamma\left(N - \frac{L^*}{2}\right) \prod_{1}^{L} \frac{I_i^{1/2}}{n_i} \prod_{L+1}^{N-1} \nu_g^*}$$

unde τ este numărul căilor echivalente pentru alegerea coordonatelor de reacţie, considerînd fiecare atom marcat şi rotaţiile libere interzise, iar n numărul poziţiilor echivalente pentru al i-lea rotator intern.

Din cele de mai sus reiese că ori care dintre expresiile lui K impune cunoaşterea frecvenţelor de vibraţie pentru reactanţi şi complecşii activaţi ; se cere de asemeni cunoaşterea energiilor de activare pentru fiecare reacţie în parte, numărul gradelor de libertate de vibraţie şi rotaţie, momentele de inerţie pentru moleculă şi energiile de excitare pentru ioni. Pentru ionii moleculari reactanţi în calcul se iau frecvenţele şi momentele de inerţie proprii moleculei neutre ; pentru ionii moleculari — complecşi activaţi, se iau aceleaşi frecvenţe şi momente, cu excepţia coordonatei de reacţie. Energiile de activare se stabilesc experimental determinîndu-se care este energia minimă necesară apariţiei ionilor consideraţi.

Cunoscîndu-se constanta vitezei de reacţie, abundenţa ionilor ce rezultă din reacţie, r, este dată de :

$$P(E) \cdot K(E)$$

$P(E)$ fiind funcţia de distribuţie pentru energia de excitare, adică funcţia care exprimă probabilitatea de realizare a fiecăreia dintre valorile energiei cuprinsă între E şi $E + dE$. Alegerea potrivită a acestei funcţii constituie una dintre problemele cele mai dificile ale calculului spectrelor de masă. Ca exemplu dăm jos una dintre formele utilizate la propan :

$P(E)$	domeniul de energie
0,9	$0-4 \cdot 10^{-19}$ J/molec.
1	$4-14 \cdot 10^{-19}$ J/molec.
0,5	$14-20 \cdot 10^{-19}$ J/molec.
0	peste $20 \cdot 10^{-19}$ J/molec.

Pentru calcularea abundenţei relative se consideră raportul dintre constanta de viteză a reacţiei ce produce ionul şi suma constantelor de viteză a tuturor reacţiilor concurente :

$$A_r = \sum_E P(E) I_r(E)$$

unde :

$$I_r = K_r(E) / \sum_i K_i(E)$$

Calculîndu-se abundenţele relative după această formulă s-a constatat că se obţine o concordanţă satisfăcătoare cu spectrul experimental numai la acele energii ale electronilor pentru care spectrul de masă este independent de energie. La energii mici, în apropierea celor la care apar

fragmente ionice, abaterile de la abundenţele experimentale sînt relalativ mari. Din această cauză, s-au încercat şi alte aproximaţii integrale (10—15) în expresia constantei vitezei de reacţie, dintre care amintim (16):

$$K(E) = \frac{\tilde{\upsilon} \sum_{Q=1}^{L} \binom{N-1}{Q} \frac{1}{Q!} \left[\frac{\tau_Q^* (E - E_0)}{h\tilde{\nu}^*} - \frac{Q-1}{2} \right]^Q}{\sum_{P=1}^{K} \binom{N}{P} \frac{1}{(P-1)!} \left[\frac{\tau_P E}{h\nu} - \frac{P-1}{P} \right]^{P-1}}$$

$$\tilde{\nu} = \left(\sum_{1}^{N} \nu_i \right)^{1/N}$$

unde τ_p este un coeficient de vibraţie:

$$\tau_P = \left(< \frac{\tilde{\nu}}{\nu_i} \frac{\tilde{\nu}}{\nu_j} \cdots \frac{\tilde{\upsilon}}{\upsilon_e} > A_v \right)^{1/P}$$

Concluzii şi observaţii

1. Fragmentarea moleculelor diatomice se tratează prin considerarea tranziţiilor verticale Franck-Condon.

2. Fragmentarea moleculelor poliatomice se tratează prin teoria quasiechilibrului.

3. Teoria presupune o redistribuire a energiei în interiorul ionului. Prin această redistribuire energia de excitare electronică se converteşte în energie de vibraţie, ionul trecînd în starea electronică fundamentală.

Dacă nivelele de energie electronice sînt suficient de apropiate transferul de energie se face neradiativ. În cazul contrar trebuie presupus un alt mecanism cum ar fi rezonanţa Fermi sau cuplarea oscilătorilor anarmonici. Există de asemenea cazuri în care nu se realizează transferul de energie, ionul rămînînd într-o stare electronică excitată. Dovezi experimentale atestă popularea unor anumite nivele electronice.

4. Ionul disociază atunci cînd energia lui de excitare pe unul din gradele de libertate de vibraţie este egală cu energia de disociere şi configuraţia nucleelor permite disocierea.

5. Ionii care se descompun sînt în stare de complex activat. Excitarea şi transferul de energie determină o distribuire uniformă a reactanţilor şi a complecşilor pe stările energetice accesibile lor, complecşii şi reactanţii sînt în echilibru.

Echilibrul este posibil cu condiţia ca tranziţiile dintre stări să se facă suficient de repede, în aşa fel încît descompunerea complexului să nu perturbe distribuţia stabilită.

6. Se consideră că descompunerea complexului are loc numai prin trecere peste bariera de potenţial, neglijîndu-se astfel efectul tunel. Viteza de descompunere a complexului este o medie a vitezelor de trecere peste bariera de potenţial.

7. Într-o reacţie chimică obişnuită stările posibile pentru reactanţi şi complecşi sînt dictate de temperatură, distribuţia reactanţilor şi a complecşilor după stările accesibile fiind de tip Maxwell — Boltzman. În cazul spectrelor de masă procesele de ionizare duc la o funcţie de dis-

tribuţie a energiei de excitare diferită de aceasta. Din cauza dificultăţilor introduse de acestă funcţie, energia de excitare rămîne parametru explicit pînă în faza finală a calculului.

8. Funcţia de excitare depinde în cazul general de distribuţia nivelelor excitate pe axa energiei şi de probabilitatea medie de tranziţie pe unul din aceste nivele situate între E şi $E + dE$, E curpinzînd energia electronică de vibraţie şi de rotaţie. Forma cea mai simplă pentru $P(E)$ este :

$$P(E) = P_0 \quad 0 \leqslant E \leqslant E_m$$
$$P(E) = 0 \qquad E > E_m$$

Dacă energia electronică se converteşte în energie de vibraţie, $P(E)$ priveşte numai nivelele de vibraţie.

9. În calculul constantei de echilibru se folosesc parametri moleculei neutre. O justificare în acest sens o constituie căldurile de atomizare a ionilor poliatomici care diferă foarte puţin de căldurile moleculelor corespunzătoare.

10. Rezultatele calculuilu se confruntă cu spectrul de masă experimental. În acest spectru intră în discuţie ionii care se formează în sursa de ioni sau în prima parte a domeniului de accelerare. În general, în sursă apar fragmente ce rezultă din reacţii avînd viteza de ordinul 10^6 sec^{-1}. Dacă viteza reacţiei este de ordinul 10^{-5} sec^{-1} ionul se formează în regim de tranzit. Aceste consideraţii sînt valabile pentru un caz mediu în care ionul petrece aproximativ 1 μ sec în camera de ionizare, 7 μ sec în zona de accelerare, 4 μ sec între domeniul de accelerare şi separatorul de masă şi încă 2 μ sec pînă la colector.

11. Datorită dificultăţilor care apar în stabiliréa parametrilor moleculari, în definirea funcţiei de excitare şi a calculului însuşi numărul spectrelor de masă calulate este relativ mic. Dintre spectrele obţinute în aproximaţia integrală dată de Vestal şi colab. amintim cele de la propan (17), acetilenă (18) şi cîteva hidrocarburi mai grele (19) iar printre spectrele calculate în aproximaţia mai veche se pot enumera cele de la propan, etan, metanol, propanol, acetat de metil, iodură, clorură şi bromură de etil. (21)

BIBLIOGRAFIE

1. P. *Kebarle, E. W. Godbole*, J. Chem. Phys., 36, 302 (1962).
2. *J. G. Collins, P. Kebarle*, J. Chem. Phys., 46, 1082 (1967).
3. *F. H. Field, J. L. Franklin*, Electron impact phenomena, New-Vork, 1957
4. *H. M. Rosenstock*, M. *B. Wallenstein, A. L. Wahrhaftig, H. Eyring*, Chemisry, 38, 667 (1952)
5. *C. A. Mc Dowell*, Trans. Frc. Soc., 50,423 (1954)
6. *M. Krauss, A. L. Wahrhaftig, H. Eyring*, Technical Report nr. LV, 15 VII 1955, Univ. Utah.
7. *M. Krauss, A. Li Wahrhaftig, H. Eyring*, Technical Report nr. VI, 30 VII 1955 Univ. Utah.
8. *E. Lindholm*, Arkiv för Fysik, 37, 1 (1968)
9. *R. M. Eliot*, Advaances in mass spectrometry, New-Vork 1963.
10. *B. S. Rabinovitch, R. W. Diesen*, J. Chem. Phys., 30, 735 (1959)
11. *G. Z. Whitten, B. S. Rabinovitch*, J. Chem. Phys., 38, 2466 ,(1963)
12. *E. W. Schlag, R. A. Sandsmark*, J. Chem. Phys., 35, 2250 (1961)
13. *P. P. Haarhoff*, Molec, Phys., 6 337 (1963)
14. *P. C. Haarhoff*, Molec. Phys., 4, 101 (1963)
15. *E. Thiele*, J. Chem. Phys., 39, 3258 (1963)
16. *M. Vestal, A. L. Wahrhaftig, W. H. Johnston*, J. Chem. Phys., 37, 1276 (1962)
17. *M. L. Vestal*, J. Chem. Phys., 43, 1356 (1965)
18. *P. C. Haarhoff*, Mplec. Phys., 8, 49 (1964)
19. *J. C. Ton. L. P. Hills, A. L. Wahrhfatig*, J. Chem. Phys., 45, 2129 (1966)
20. *A. Kropf, E. M. Eyring, A. L. Wahrhaftig, H. Eyring*. J. Chem. Phys., 32, 149 (1950)
21. *F. W. Mc Lafferty*, Mass spectrometry of organic ions, New-York, 1963.

REZONANȚA FEROMAGNETICA

E. GRIMBERG — Centrul de cercetări fizice, Iași

În anul 1913 fizicianul rus Arkadiev emite ipoteza existenței rezonanței feromagnetice, în lucrarea sa despre electrodinamica mediilor feromagnetice. Ulterior au fost făcute aprofundări teoretice de către Landau și Lifșitz și Kitel.

Astăzi rezonanța feromagnetică constitue o importantă temă de cercetare abordată atît din punct de vedere teoretic cît și experimental, în scopul explicării și descoperirii de noi proprietăți ale corpurilor feromagnetice. Un avînt deosebit l-a luat studiul rezonanței feromagnetice a peliculelor subțiri, la care problemele care se pun sînt diferite de cele ale rezonanței la corpurile masive.

Să considerăm un corp feromagnetic magnetizat la saturație după axa de ușoară magnetizare, de către un cîmp magnetic static. Spinii electronilor încearcă să execute o mișcare de precesie în jurul cîmpului static însă intervin amortizările din partea rețelei cristaline. Pentru întreținerea mișcării de precesie este necesară o energie din exterior sub forma unui cîmp electromagnetic de înaltă frecvență care acționează perpendicular pe cîmpul static, după condițiile de mișcare ale giroscopului. În momentul în care frecvența mișcării de precesie (frecvența Larmor) este egală cu cea a cîmpului de înaltă frecvență, absorbția de energie de la cîmpul de microunde este maximă și are loc fenomenul de rezonanță feromagnetică.

Fenomenul de rezonanță este determinat de rezonanța purtătorilor elementari de moment magnetic, adică de rezonanța spinilor electronici.

Intensitatea cîmpului de rezonanță static H este legată de pulsația cîmpului de înaltă frecvență ω prin relația :

$$\omega = \gamma H \qquad (1)$$

în care γ se numește factor giromagnetic : $\gamma = \frac{g\,\mu_B}{\hbar}$ unde g este factorul magnetomecanic (factorul lui Landée);

μ_B este magnetonul Bohr-Procopiu și $\hbar = \frac{h}{2\pi}$.

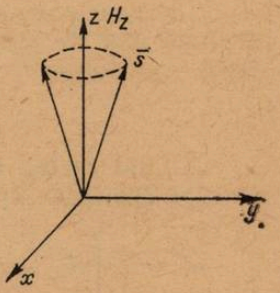


Fig. 1

Experiențele făcute de Griffiths și Zavoiski în 1947 au arătat că rezonanța se obține la valori ale amplitudinii cîmpului static de magnetizare de 6—10 ori mai mici decît valorile calculate teoretic.

Deosebirea dintre valorile calculate teoretic pe baza formulei (1) și cele obținute experimental se explică prin aceea că spinii electronici nu formează un „gaz liber", deoarece se găsesc în cîmpuri interne electrice (cîmpurile de schimb) și magnetice (cîmpurile de anizotropie, cîmpurile de demagnetizare a suprafețelor și cîmpul de polarizare exterioară) intense.

Să găsim, pe baza teoriei clasice a feromagnetismului, o formulă care să concorde mai bine cu valorile experimentale.

Fie I momentul magnetic al electronilor aflați în corpul feromagnetic de studiat. El este legat de momentul unghiular prin relația cunoscută :

$$I = \gamma J \tag{2}$$

Să considerăm că axa Z este axa preferențiată a magentizării eșantionului feromagnetic, care prezintă o anizotropie biaxială și a căror cîmpuri de anizotropie vor fi H_{k_x} și H_{k_y} după axele X și respectiv Y.

Ecuația de mișcare pentru momentul unghiular se scrie în general sub forma :

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\vec{J} = \vec{T} \tag{3}$$

în care :

$$\vec{T} = \vec{I} \times \vec{H} \tag{4}$$

Pe baza ecuației (2), ecuația (3) poate fi scrisă scalar sub forma unui sistem de două ecuații și anume :

$$\begin{aligned} \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} I_x &= -\gamma (H_{k_y} + H_z) I_y \\ \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} I_y &= +\gamma (H_{k_x} + H_z) I_x \end{aligned} \tag{5}$$

a căror soluții vor fi :

$$\begin{aligned} I_x &= I_{x_{\max}} e^{i\omega t} \\ I_y &= I_{y_{\max}} e^{i\omega t} \end{aligned} \tag{6}$$

Substituind (6) în (5) și eliminînd pe $I_{y_{\max}}$ și $I_{x_{\max}}$ obținem în final :

$$\omega_0^2 = \gamma^2 (H_{k_x} + H_z)(H_{k_y} + H_z) \tag{7}$$

unde ω_0 este pulsația de rezonanță a precesiei.

În cazul particular al corpurilor cu cîmp de anizotropie H_k, orientat după axa de ușoară magnetizare, ecuația (7) se simplifică putînd fi scrisă sub forma :

$$\omega_0 = \gamma (H_k + H_z) \tag{8}$$

Ținînd seama și de cîmpul de demagnetizare a suprafețelor eșantionului, formula (7) poate fi scrisă sub forma generală :

$$\omega_0^2 = \gamma^2 \left[H_{k_x} - (N_z - N_x) \frac{I_s}{\mu_0} + H_z \right] \left[H_{k_y} - (N_z - N_y) \frac{I_s}{\mu_0} + H_z \right] \tag{9}$$

unde N_x, N_y, N_z sînt factorii de demagnetizare după axele X, Y, Z.

Să considerăm un cristal uniaxial care se găsește într-un cîmp static H ce face cu axa Z un unghi ξ. Energia magnetocristalină este : $E = K \sin^2 \theta$.

Energia potențială totală a cristalului magnetizat la saturație :

$$E = K \sin^2\theta - HI_s(\cos\theta\cos\varphi\sin\xi - \sin\theta\cos\xi) \qquad (10)$$

Poziția de echilibru a lui I_s este determinată, în planul XOY de condiția de minim a energiei potențiale în raport cu unghiul θ.

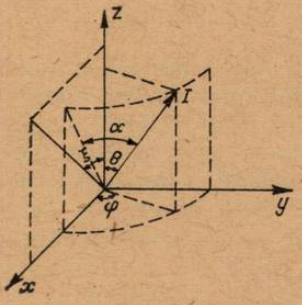


Fig. 2

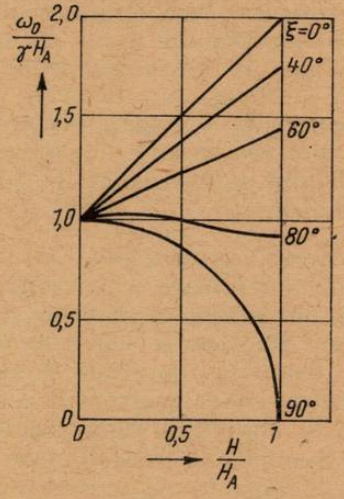


Fig. 3

Rezultă pentru θ o relație implicită de forma :

$$H_k \sin\theta\cos\theta + H\sin(\xi - \theta) = 0 \qquad (11)$$

în care am notat :

$$H_k = \frac{2K}{I_s}$$

Vectorul de magnetizare se va roti în planul XOZ în cîmpul efectiv

$$H_\theta = \frac{d^2E/d\theta^2}{I_s},$$

iar în planul perpendicular pe aceasta, în cîmpul efectiv

$$H_\alpha = \frac{d^2E/d\alpha^2}{I_s}.$$

Unghiul α este legat de unghiul φ prin relația :

$$d\alpha = \sin\theta d\varphi$$

Substituind în (7) pe H_{k_x} și H_{k_y} prin H_θ și H_α, presupunînd că $H_z = 0$ și $\xi = 0$, se va reobține ecuația (8), iar considerînd că $\xi = \frac{\pi}{2}$ se va obține :

$$\omega^2 = \gamma^2(H_k^2 - H^2)$$

Dacă ξ variază de la 0 la $\frac{\pi}{2}$, frecvențele de rezistență variază conform graficului din Fig. 3.

Spectrul de rezonanţă feromagnetică a unui corp feromagnetic are forma din Fig. 4.

Teoria rezonanţei feromagnetice a întîmpinat o mare dificultate în încercarea de a explica legile lărgimii liniilor de rezonanţă. Prin lărgimea liniei spectrale se înţelege, în cazul de faţă, distanţa $\Delta\omega$, în scara frecvenţelor, pentru $H = \text{const.}$ sau în scara cîmpurilor pentru $\omega = \text{const.}$, măsurată între două puncte situate de ambele părţi ale vîrfului de rezonanţă, la jumătatea înălţimii liniei.

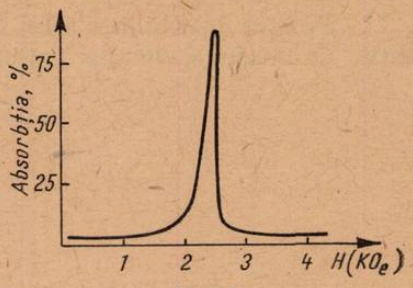


Fig. 4

Acest fapt a făcut să se treacă la o teorie cuantică a rezonanţei feromagnetice, care se bazează pe introducerea operatorilor energiei faţă de cîmpul magnetic exterior şi a operatorului interacţiunii magnetice a forţelor dipolare şi cuadrupolare (interacţiunea spin-orbită). Totuşi şi teoria cuantică reprezintă o aproximare grosolană a realităţii, deoarece din cauza neomogenităţilor magnetizării datorate curenţilor turbionari induşi de cîmpul de radiofrecvenţă, operatorii nu mai comută cu magnetizarea neomogenă, ceea ce face ca lărgimea calculată a liniei spectrale să fie de circa 10 ori mai mică decît cea observată experimental.

În anul 1957 Tannenwald şi Seavey studiind rezonanţa feromagnetică la aliajele Ni—Fe (80% Ni) observă o rezonanţă multiplă, cu mai multe maxime de rezonanţă. Acest tip de rezonanţă feromagnetică a primit denumirea de rezonanţa undelor de spin.

Dacă într-un sistem de spini paraleli se produce cu ajutorul unei excitaţii o deviaţie transversală a unui spin, deviaţie care poate să ajungă pînă la poziţia antiparalelă atunci, datorită forţelor de schimb, sînt antrenaţi în această mişcare şi ceilalţi spini încît se ajunge la o distribuţie spaţială neomogenă care se propagă şi astfel apare o undă de spin.

Spinii efectuînd o mişcare de precesie în jurul direcţiei unui cîmp static, unda de spin va cuprinde de fapt faze diferite ale mişcării de precesie. Rezonanţa undelor de spin reprezintă sistemul de unde staţionare a undelor de spin care iau naştere cînd cîmpul magnetic static acţionează perpendicular pe suprafaţa corpului.

Acest fenomen al rezonanţei undelor de spin, fiind determinat în principiu de forţele de schimb, constituie una dintre metodele principale pentru determinarea constantei de schimb şi a altor mărimi. Cu cît lungimea undei de spin va fi mai mică cu atît frecvenţa de precesie a spinilor va fi mai mare. Se poate face o analogie între unda de spin şi o coardă care oscilează, unde forţele elastice ar avea rolul forţelor de schimb.

Spectrul de rezonanţă al undelor de spin are forma prezentată în figura 5.

Schema bloc a dispozitivului experimental pentru studiul rezonanţei feromagnetice este prezentată în Fig. 6.

Oscilaţiile de ultraînaltă frecvenţă (de ordinul gigahertzilor) sînt produse de generatorul (1), realizat cu ajutorul unui clistron reflex. Oscilaţiile sale sînt modulate în amplitudine cu impulsuri dreptunghiulare create de generatorul de impulsuri (2). Semnalul se aplică printr-un atenuator (3), cavităţii rezonante (5), la capătul căreia se găseşte eşantionul

feromagnetic de studiat (6). Cavitatea împreună cu eşantionul sînt dispuse între polii unui electromagnet (7). Calitatea cuplajului între generator şi sarcină este controlată cu ajutorul indicatorului de undă staţionară (4), cuplat cu un amplificator selectiv (10), care are în ieşire instrumentul de măsură (14).

Semnalul de rezonanţă poate fi observat în mai multe moduri. Fie la oscilografuI catodic (13) la care o pereche de plăci sînt legate la atenuatorul (8), iar sincronizarea se face cu ajutorul generatorului de impulsuri, fie cu ajutorul instrumentului de măsură (15), conectat la ieşirea amplificatorului (11), sincronizat tot de generatorul de impulsuri (2).

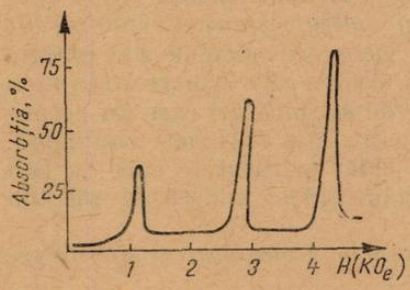


Fig. 5

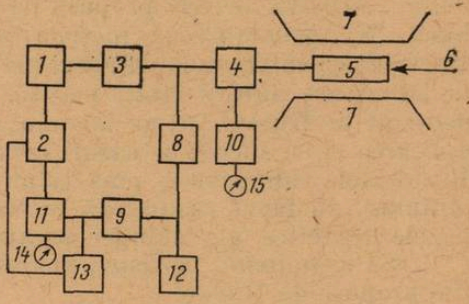


Fig. 6

În încheiere ţinem să subliniem că rezonanţa feromagnetică este un caz particular de rezonanţă electronică la care însă, spinii electronici nu se comportă ca un gaz liber ci se găsesc în cîmpuri electrice interne, intense.

BIBILIOGRAFIE

1. *S. V. Vonsovski* Teoria modernă a magnetismului. Ed. Tehnică Bucureşti 1956.
2. *H. Zijlstra* Experimental Methods in magnetism. North-Holland Publishing Company Amsterdam 1967
3. *V. I. Cecernicov* Magnitnîe izmerenia. Izdatelstvo Moskovskovo Universiteta 1969
4. *E. A. Turov, M. P. Petrov* Magnitnîi rezonans v ferro i antiferromagnetikah. Izdatel'stvo „Nauka" Moskva 1969
5. *Le Dang Khoi* Rev. de Phys. Appl. 3,2, 193, (1968)

UTILIZAREA ECUAȚIILOR CU DIFERENȚE FINITE ÎN CADRUL METODEI HÜCKEL

PETRE I. Fac. Chimie, București.

Deoarece ecuația lui Schrödinger poate fi rezolvată exact numai pentru atomul de hidrogen, în cazul sistemelor cu mai mulți electroni (atomi sau molecule) se folosesc diferite metode aproximative, dintre care cea mai importantă, pentru molecule, este metoda orbitalelor moleculare. Această metodă propusă de Hund [1], Lennard-Jones [2] și Mulliken [3], generalizează metoda cîmpului selfconsistent, introdusă de Hartree (4) pentru atom, la cazul moleculei. Deoarece calculele sînt extrem de laborioase autorii citați mai sus și alții, dintre care remarcăm în mod deosebit pe Hückel [5] au introdus o serie de simplificări care au permis aplicarea ei cu succes pe cazuri concrete, în speță la sistemele conjugate. Rezultatele calitative și pînă la un punct chiar cantitative care au fost obținute, au făcut ca această metodă simplificată să constituie una din bazele teoretice ale chimiei organice.

Să examinăm, pe scurt, metoda orbitalelor moleculare și simplificările propuse de Hückel.

Pentru un atom cu mai mulți electroni operatorul lui Hamilton are forma :

$$\hat{\mathbf{H}} = \sum_i \hat{\mathbf{h}}(q_i) + \frac{1}{2} \sum_{i<j} \frac{e^2}{r_{ij}}$$

unde :

$$\hat{\mathbf{h}}(q_i) = -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta_i + U(q_i)$$

iar $U(q_i)$ reprezintă interacția electronului de coordonată q_i cu nucleul. Dacă se neglijează termenul $\frac{1}{2} \sum \frac{e^2}{r_{ij}}$, problema a mai mulți electroni se reduce la o problemă monoelectronică. Deoarece o asemenea aproximație este extrem de grosieră se introduce noțiunea de potențial efectiv $G(q)$, care depinde de coordonatele unui electron și care descrie interacția acestuia cu distribuția staționară Schrödinger a celorlalți electroni. Modul cum se obține un asemenea potențial efectiv (prin recurență) este dat de procedeul Hartree. Potențialul $G(q)$ se consideră același pentru toți electronii sistemului. În felul acesta în locul lui $\hat{\mathbf{H}}$ se obține un $\hat{\mathbf{H}}_{ef}$ dat de :

$$\hat{\mathbf{H}}_{ef} = \sum \hat{\mathbf{h}}_{ef}(q_i)$$

unde :

$$\hat{\mathbf{h}}_{ef} = \hat{\mathbf{h}}(q) + G(q)$$

Funcțiile proprii (φ_r) ale acestui operator se numesc orbitale atomice (A. O.). Pentru o moleculă (formată din mai mulți atomi) cu n electroni de valență, hamiltonianul efectiv se deosebește de cel de mai sus prin aceea că interacția electronilor de valență cu nucleele este ecranată de

electronii păturilor interne. Cu alte cuvinte numărul de ordine al unui nucleu Z se înlocuieşte cu Z^*, calculat după regulile lui Slater [6]. Acelaşi Z^* apare şi în funcţiile de undă care descriu stările electronilor în jurul nucleelor. Funcţiile de undă (ψ_j) corespunzătoare hamiltonianului monoelectronic efectiv (acelaşi pentru toţi electronii de valenţă), se numesc orbitale moleculare (M. O.). Deoarece descrierea unui electron în moleculă prin orbitala moleculară, nu diferă prea mult de descrierea aceluiaş electron în jurul unui nucleu prin orbitala atomică, se poate considera că o orbitală moleculară poate fi scrisă ca o combinaţie lineară de orbitale atomice. De aici şi denumirea metodei şi anume M. O. L. C. A. O. (molecular orbitals-linear combination of atomic orbitals). Cu alte cuvinte, pentru un electron de valenţă din molecula examinată, aflat pe nivelul energetic j şi descris de ψ_j, putem scrie :

$$\psi_j = \sum_r C_{jr} \cdot \varphi_r \tag{1}$$

unde φ_r este orbitala atomică centrată pe atomul r. Coeficienţii orbitali C_{jr} (care arată cu ce probabilitate electronul de pe nivelul j se deplasează în jurul atomului r) sînt determinaţi din condiţia de minim a energiei ε_j, corespunzătoare obitalei ψ_j şi normarea acesteia din urmă. Notînd cu h_{ef} hamiltonianul electronului în moleculă, din definiţia valorilor medii rezultă :

$$\varepsilon_j = \frac{<h_j|\hat{\mathbf{h}}_{ef}|\psi_j>}{<\psi_j|\psi_j>} = \frac{\sum_{r,s} C_{jr} C_{js}^* <\varphi_r|\mathbf{h}_{ef}|\varphi_s>}{\sum_{r,s} C_{jr} C_{js}^* <\varphi_r|\varphi_s>} = \frac{\sum_{r,s} C_{jr} C_{js}^* h_{rs}}{\sum_{r,s} C_{jr} C_{js}^* S_{rs}} \tag{2}$$

unde am notat

$$S_{rs} = <\varphi_r|\varphi_s> \tag{3}$$

$$h_{rs} = <\varphi_r|\hat{\mathbf{h}}_{ef}|\varphi_s> \tag{4}$$

Deoarece ε_j este funcţie de coeficienţii orbitali C_{jr}, cele mai bune orbitale moleculare trebuie să asigure minimul energiei, adică :

$$\frac{\sigma \varepsilon_j}{\sigma C_{js}^*} = 0$$

În cazul cînd o funcţie raport, $f = \frac{u}{v}$ are un minim (extremum) acesta se găseşte uşor şi anume $f' = \frac{uv' - uv'}{v^2} = 0$. Rezultă că $f = \frac{u}{v} = \frac{u'}{v'}$. Aplicînd această idee la egalitatea de mai sus (2) obţinem (ca şi cum am simplifica cu C_{js}^* !)

$$\varepsilon_j = \frac{\sum_r C_{jr} h_{rs}}{\sum C_{jr} S_{rs}} \tag{5}$$

relaţie care mai poate fi scrisă şi astfel :

$$\sum_r (h_{rs} - \varepsilon_j S_{rs}) C_{jr} = 0 \tag{6}$$

Egalitatea (6) reprezintă un sistem linear și omogen de n ecuații cu n necunoscute. Considerînd cunoscute h_{rs} și S_{rs}, din condițiile ca sistemul să aibă soluții netriviale, se obține un determinat secular din care se determină valorile energiei ε_j. Dacă se introduc aceste valori în sistem (6) și se ține seama de condiția de normare, se obțin coeficienții orbitali C_{jr}.

Să revenim acum la semnificația fizică a relațiilor (3) și (4) și la simplificările propuse de Hückel.

a) — Mărimea S_{rs} se numește integrală de acoperire între orbitalele atomice φ_r și φ_s și arată gradul în care două funcții se întrepătrund. Această integrală, măsură a „tăriei" legăturii chimice, ce are valori cuprinse între zero și unu, este considerată în aproximația Hückel egală cu valorile extreme, adică:

$$S_{rs} = \delta_{rs} = \begin{cases} 1 & r = s \\ 0 & r \neq s \end{cases}$$

Cu alte cuvinte se presupune că orbitalele atomice sînt ortonormate. Deși pentru atomii vecini de C, într-un sistem conjugat, valoarea acestei integrale este 0,25, există procedee [7] care permit transformarea unei baze neortogonale în una ortonormată.

b) — Integrala h_{rs} (4), care are întotdeauna o valoare negativă este notată în aproximația Huckel prin:

$$h_{rr} = \alpha_r$$

numită integrală de acoperire și:

$$h_{rs} = \beta_{rs} \qquad (r \neq s)$$

numită integrală de rezonanță.

Semnificația acestor mărimi este următoarea:

— integrala coulombiană este o măsură a energiei electronului π (la sistemele conjugate orbitalele atomice sînt de tipul $2p_z$), descris de orbitala φ_r, o măsură a puterii de a reține (capta) acest electron. Într-un sistem conjugat, în afara unor cazuri care se specifică, α_r este aceeași pentru toți atomii. Această mărime este considerată ca parametru și valoarea ei este astfel aleasă încît energia sistemului să coincidă cu datele experimentale. În plus mărimea ei poate fi corelată cu electronegativitatea sistemului.

— integrala de rezonanță (β_{rs}) caracterizează tendința legăturii $r—s$ de a atrage un electron. Ca și integrala coulombiană, integrala de rezonanță, în afara unor cazuri care se specifică (atomi diferiți, subsituenți), este aceeași pentru toții atomii vecini între care există legătură chimică. Cu alte cuvinte $\beta_{rs} = \beta \cdot \delta_{rr\pm1}$. Mărimea ei poate fi corelată cu diferența de energie între legăturile simplă și dublă ale atomilor r și s, deși valoarea sa numerică reprezintă energia de formare a legăturii π. În cadrul metodei Hückel, și această integrală poate fi considerată drept parametru, corelat cu potențialul de ionizare.

Cu aceste considerații egalitatea (6) devine:

$$(\alpha_r - \varepsilon_j) C_{jr} + \sum_{s=r\pm1} \beta_{rs} C_{js} = 0 \qquad (7)$$

Dacă examinăm o moleculă liniară sau ciclică formată din atomi identici, indicii parametrilor α_r și β_{rs} dispar. Efectuînd, în plus, o translație de indice $(r \to r+1)$ ecuația (7) devine:

$$\beta C_{jr} + (\alpha_r - \varepsilon_j) C_{jr+1} + \beta C_{jr+2} = 0 \tag{8}$$

O asemenea egalitate, formată din trei termeni ai căror coeficienți, prin indicii r, variază cu același număr și în care coeficienții extremi sînt înmulțiți cu același factor (β), se numește *ecuație cu diferențe finite.* Soluțiile pe care le admite această ecuație sînt de forma:

$$C_{jr} = A \sin jr + \beta \cos jr \tag{9}$$

sau:

$$C_{jr} = C \cdot e^{ijr} \; (i = \sqrt{-1}) \tag{10}$$

Deși între (9) și (10) nu este o deosebire esențială, deoarece o funcție exponențială poate fi descompusă în funcții trigonometrice (și invers o funcție trigonometrică poate fi scrisă prin funcții exponențiale), este mai util să le scriem separat, deoarece condițiile la limită se pun diferit.

Astfel în cazul moleculelor liniare, formate din atomi identici ($r = 1, 2, \ldots n$), fiecare avînd un singur electron de valență, condițiile la limită sînt:

$$C_0 = 0, \quad C_{n+1} = 0 \tag{11}$$

(în punctele zero și $n+1$ nu există atomi și deci nici electroni de valență). Aplicînd aceste condiții relației (9) obținem:

$$B = 0, \quad \sin j(n+1) = 0 = \sin m\pi$$

și deci:

$$j = \frac{m\pi}{n+1} \; (m = 1,2, \ldots n) \tag{12}$$

Așadar pentru sisteme liniare soluția ecuației (8) este de forma $(m \to j)$:

$$C_{jr} = A \sin \frac{jr\pi}{n+1}$$

Constanta A se determină din condiția de normare, care este echivalentă cu:

$$1 = \sum_{r=1}^{n} C_{jr}^2 = A^2 \sum_{r=1}^{n} \sin^2 \frac{jr\pi}{n+1} = A^2 \cdot \frac{n+1}{2}$$

În final obținem:

$$C_{jr} = \sqrt{\frac{2}{n+1}} \sin \frac{jr\pi}{n+1} \tag{13}$$

Pentru sistemele ciclice, unde vom pune condiția de periodicitate rezultă:

$$C_{r+n} = C_r$$

$$e^{ijn} = 1 = e^{i2\pi m}$$

sau :

$$j = \frac{2\pi m}{n} (m = 1, 2, \ldots n) \tag{14}$$

Din condiţia de normare, asemănătoare cu cea scrisă pentru molecula lineară obţinem :

$$C_{jr} = \frac{1}{\sqrt{n}} e^{i\frac{2\pi jr}{n}}. \tag{15}$$

unde am făcut schimbarea de indice $m \rightarrow j$.

În continuare vom rezolva ecuaţia (8) pe cîteva cazuri concrete (molecule cu anumire tipuri de simetrie)

Moleculă liniară cu n atomi identici.

După cum am văzut, ecuaţia pentru coeficienţii orbitali şi nivelele energetice (8), admite ca soluţie (13).

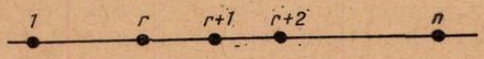


Fig. 1

Introducînd (13) în (8) şi grupînd termenii extremi obţinem (după simplificarea cu $\sin \frac{jr\pi}{n+1}$):

$$\varepsilon_j = \alpha + 2\beta \cos \frac{j\pi}{n+1} (j = 1,2, \ldots n)$$

Ca exemplu concret de moleculă liniară vom alege butadiena. În acest caz $n = 4$; $j = 1, 2, 3, 4$. Prin înlocuirea acestor numere în formula energiei obţinem :

$$\varepsilon_1 = \alpha + 1{,}618\ \beta \quad \varepsilon_3 = \alpha - 0{,}618\ \beta$$
$$\varepsilon_2 = \alpha + 0{,}618\ \beta \quad \varepsilon_4 = \alpha - 1{,}618\ \beta$$

Aceleaşi mărmi rezultă din rezolvarea determinantului secular de ordinul patru.

Moleculă ciclică cu n atomi identici.

Înlocuind (15) în (8) şi efectuînd simplificările de rigoare, obţinem :

$$\varepsilon_j = \alpha + 2\beta \cos \frac{j\pi}{n}$$

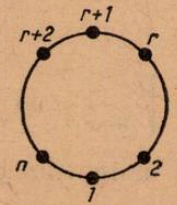


Fig. 2

Exemplul concret, cel mai sugestiv, ar fi benzenul. Il vom studia însă pe un caz mai general şi anume pe un sistem ciclic.

Moleculă liniară cu n atomi, alternanți.

Să considerăm o moleculă liniară în care integralele de rezonanță și coulombiene pot lua valori diferite, caracterizate prin indicii 1 și 2. Aplicînd (8) obținem:

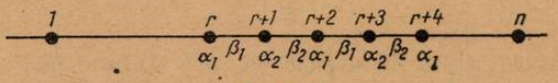


Fig. 3

$$\beta_1 C_{jr} + (\alpha_2 - \varepsilon_j) C_{jr+1} + \beta_2 C_{jr+2} = 0$$

$$\beta^2 C_{jr+1} + (\alpha_1 - \varepsilon_j) C_{jr+2} + \beta_1 C_{jr+3} = 0$$

$$\beta_1 C_{jr+2} + (\alpha_2 - \varepsilon_j) C_{jr+3} + \beta_2 C_{jr+4} = 0.$$

Dacă înlocuim C_{jr+1} din prima egalitate și C_{jr+3} din a treia, în cea de a doua, obținem ecuația cu diferențe finite:

$$\beta_1 \beta_2 C_{jr} + [\beta_1^2 + \beta_2^2 - (\alpha_1 - \varepsilon_j)(\alpha_2 - \varepsilon_j)] C_{jr+2} + \beta_1 \beta_2 C_{jr+4} = 0$$

din care, prin introducerea soluției (13) obținem valorile energiei de forma:

$$\varepsilon_j^{(1,2)} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \pm \sqrt{\frac{(\alpha_1 - \alpha_2)^2}{4} + \beta_1^2 + \beta_2^2 + 2\beta_1 \beta_2 \cos \frac{2\pi j}{n+1}}$$

unde $j = 1, 2 \ldots n/2$.

Remarcăm că dacă în această relație înlocuim, $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$; $\beta_1 = \beta_2 = \beta$, valorile energiei coincid cu cele obținute în cazul moleculei liniare cu atomi identici.

Moleculă ciclică cu n atomi, alternanți.

Ecuația cu diferențe finite are aceeași formă cu cea obținută în cazul precedent. Prin substituirea soluției de forma (15) obținem, pentru energie valorile:

$$\varepsilon_j^{(1,2)} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \pm \sqrt{\frac{(\alpha_1 - \alpha)^2}{4} + \beta_1^2 + \beta_2^2 + 2\beta_1 \beta_2 \cos \frac{2\pi j}{n}}$$

Moleculă liniară formată din n cicluri.

Vom considera o moleculă formată din n cicluri, în care numerotarea atomilor identici și implicit a electronilor, este următoarea:

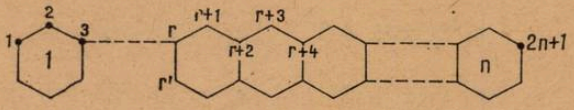


Fig. 4

Ecuația cu diferențe finite (8) sau mai exact (7) conduce la:

$$\beta C_{jr} + (\alpha - \varepsilon_j) C_{jr+1} + \beta C_{jr+2} = 0$$

$$\beta C_{jr+1} + (\alpha - \varepsilon_j) C_{jr+2} + \beta C_{jr+3} + \beta C_{jr'+2} = 0$$

$$\beta C_{jr+2} + (\alpha - \varepsilon_j) C_{jr+3} + \beta C_{jr+4} = 0$$

În virtutea simetriei moleculei coeficienții orbitali pot fi simetrici : ($C_{jr} = C_{j\,r'}$) sau antisimetrici ($C_{jr} = -C_{jr'}$). Pentru cazul cînd $C_{jr+2} = C_{jr'+2}$, prin eliminarea coeficienților C_{jr+1} și C_{jr+3} obținem ecuația cu diferențe finite :

$$\beta^2 C_{jr} + [2\beta^2 - (\alpha - \varepsilon_j)^2 - \beta(\alpha - \varepsilon)] C_{jr+2} + \beta^2 C_{jr+4} = 0$$

Foarte important este tipul de soluție pe care trebuie să-l satisfacă această ecuație. Deși ar părea normală condiția de periodicitate, este evident că o asemenea moleculă trebuie considerată ca fiind formată din două linii r și r' și deci soluția va fi de tipul (13), care în acest caz devine :

$$C_{jr} = \frac{1}{\sqrt{n+1}} \sin \frac{jr\,\pi}{2(n+1)}$$

Substituind această soluție în ecuația cu diferențe finite de mai sus obținem valorile energiei :

$$\varepsilon_j^{(1,2)} = \alpha + \beta \left[1 \pm \frac{\sqrt{9 + 8\cos \frac{j\pi}{n+1}}}{2} \right]$$

$$j = 1,2 \ldots\ldots n+1$$

Cel de-al doilea caz ($C_{jr} = -C_{jr'}$) rezultă automat, deoarece este echivalent cu înlocuirea parametrului β prin $-\beta$. În final obținem pentru energie valorile :

$$\varepsilon_j^{(1,2)} = \alpha - \beta \left[1 \pm \frac{\sqrt{9 + 8\cos \frac{j\pi}{n+1}}}{2} \right]$$

Deoarece numărul nivelelor energetice trebuie să fie $4n + 2$ și nu $4n + 4$, cum apare din cele două egalități, trebuiesc excluse acele valori care dau zero pentru parantezele dreptunghiulare. Această condiție rezultă din faptul că C_{jr+1} se obține ca un raport în care la numitor apare $\alpha - \varepsilon_j \neq 0$.

Pentru benzen ($n = 1$, $j = 1, 2$) obținem :

$$\varepsilon_1 = \alpha + 2\beta \qquad \varepsilon_4 = \alpha - \beta$$

$$\varepsilon_2 = \alpha + \beta \qquad \varepsilon_5 = \alpha - \beta$$

$$\varepsilon_3 = \alpha + \beta \qquad \varepsilon_6 = \alpha - 2\beta$$

Aceleași valori se obțin dintr-un determinant de ordinul șase.

Pentru naftalină ($n = 2$, $j = 1, 2, 3$) sau antracen, valorile energiei se obțin prin simple operații algebrice (după ce valoarea cosinusului este luată din tabele).

Moleculă formată din cicluri condensate.

Schematic o asemenea moleculă o reprezentăm astfel:

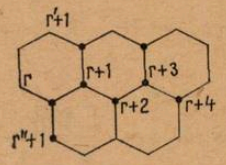


Fig. 9

Ecuaţia cu diferenţe finite (7) conduce la:

$$\beta C_{jr} + (\alpha - \varepsilon_j) C_{jr+1} + \beta C_{jr'+1} + \beta C_{jr+2} = 0$$

$$\beta C_{jr+1} + (\alpha - \varepsilon_j) C_{jr+2} + \beta C_{jr''+2} + \beta C_{jr+3} = 0$$

$$\beta C_{jr+2} + (\alpha - \varepsilon_j) C_{jr+3} + \beta C_{jr'+3} + \beta C_{jr+4} = 0$$

În cazul cînd coeficienţii orbitali sînt consideraţi simetrici ($C'' = C = C'$), prin eliminarea coeficienţilor C_{jr+1} şi C_{jr+3} obţinem ecuaţia cu diferenţe finite:

$$\beta^2 C_{jr} + [2\beta^2 - (\alpha + \beta - \varepsilon_j)^2] C_{jr+2} + \beta^2 C_{jr+4} = 0$$

Utilizînd o soluţie de tipul (13) găsim pentru energie valorile:

$$\varepsilon_j^{(1,2)} = \alpha + \beta\left(1 \pm 2\cos\frac{j\pi}{2n+2}\right)$$

Dacă se consideră coeficienţii orbitali antisimetrici ($-C' = C = -C''$), ceea ce este echivalent cu $\beta \to -\beta$, energia devine:

$$\varepsilon_j^{(3,4)} = \alpha - \beta\left(1 \pm 2\cos\frac{j\pi}{2n+2}\right)$$

Rezultatele obţinute pot fi „îmbunătăţite", luînd în consideraţie integrala de acoperire (S). În acest caz (8) devine:

$$(\beta - \varepsilon_j S) C_{jr} + (\alpha - \varepsilon_j) C_{jr+1} + (\beta - \varepsilon_j S) C_{jr+2} = 0$$

şi conduce la:

$$\varepsilon_j = \frac{\alpha + 2\beta\cos\dfrac{j\pi}{n+1}}{1 + 2S\cos\dfrac{jr}{n+1}}$$

pentru molecule lineare cu atomi identici, şi

$$\varepsilon_j = \frac{\alpha + 2\beta\cos\dfrac{j\pi}{n}}{1 + 2S\cos\dfrac{jr}{n}}$$

pentru molecule ciclice cu atomi identici.

Ecuația cu diferențe finite pentru o moleculă liniară cu n atomi alternanți, în cazul cînd se ia în considerație acoperirea, devine o ecuație de gradul doi:

$$A\varepsilon_j^2 + B\varepsilon_j + C = 0$$

unde:

$$A = 1 - S_1^2 - S_2^2 - 2S_1 S_2 \cos \frac{2\pi j}{n+1}$$

$$B = \alpha_1 + \alpha_2 - 2\left[\beta_1 S_1 + \beta_2 S_2 + (\beta_1 S_2 + \beta_2 S_1)\cos \frac{2\pi j}{n+1}\right]$$

$$C = -\alpha_1 \alpha_2 + \beta_1^2 + \beta_2^2 + 2\beta_1 \beta_2 \cos \frac{2\pi j}{n+1}$$

Prin intermediul integralei de acoperire poate fi scrisă cunoscuta aproximație Mulliken:

$$H_{rs} = S_{rs} \frac{H_{rr} + H_{ss}}{2}$$

Dacă se aplică această aproximație la moleculele lineare cu n atomi identici, se obține:

$$\beta = \alpha \cdot S$$

iar:

$$\varepsilon_j = \frac{\alpha + 2\beta \cos \frac{j\pi}{n+1}}{1 + 2S\cos \frac{j\pi}{n+1}}$$

devine:

$$\varepsilon_j = \alpha = \text{const. în raport cu } j.$$

Se poate observa, din acest exemplu, că aproximația Mulliken conduce la degenerarea energetică a stării fundamentale. Această afirmație poate fi demonstrată pe cazul general, pornind de la determinantul secular.

Din exemplele prezentate rezultă că metoda orbitalelor moleculare (aproximația Hückel), pentru molecule cu anumite tipuri de simetrie, se reduce la ecuații cu diferențe finite care pot fi rezolvate pe cale trigonometrică, evitîndu-se rezolvarea determinanților seculari corespunzători.

BIBLIOGRAFIE

[1] *Lennard-Jones*, Trans. Far. Soc. 25, 668, 1928
[2] *Hund F.*, Z. Phys. 59, 759, 1928; 77, 1, 1930.
[3] *Mulliken R. S.*, Phys. Rev. 32, 186, 1928; 41, 49, 1930.
[3] *Mulliken R. S.*, Phys. Rev. 32, 186, 1928; 41, 49, 1930.
[4] *Hartree D. R.*, Proc. Cambrige Phys. Soc. 24, 89, 111, 1928.
[5] *Hückel E.*, Z. Phys. 66, 423, 1930.
[6] *Petre I.*, Rev. Roumaine de Chimie 12, 1970.
[7] *Petre I.*; Analele Univ. Buc. Seria Chimie 1, 1970.
[8] *Krugliak I. A.*, Metodi Kvantovi Himii-Kiev 1967.

ASUPRA MODIFICĂRII FRECVENȚEI FOTONILOR LA DEPLASAREA ÎN CÎMPURI GRAVITAȚIONALE

Asistent *IOAN DRUICĂ ZELETIN*, București.

I. *Cîmp și potențial gravitațional.* Două corpuri de mase M și m interacționează, potrivit legii atracției universale, cu forța :

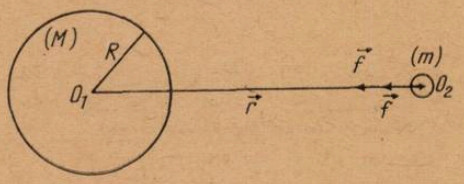


Fig. 1

$$\vec{F} = - k \frac{mM}{r^3} \vec{r} \tag{i}$$

unde $k = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ N · m²/N.kg², este constanta atracției universale, iar r este distanța dintre centrele corpurilor.

Interacția dintre cele două corpuri se realizează prin intermediul cîmpului gravitațional. Prin definiție, forța ce se exercită de către corpul de masă M asupra unității de masă situate într-un punct aflat la distanța r de centrul de masă al corpului M, se numește intensitate a cîmpului gravitaționl creat de M în acel punct.

Deci :

$$\vec{\Gamma} = \frac{\vec{F}}{m} = - k \cdot \frac{M}{r^3} \vec{r} \tag{2}$$

Cîmpul gravitațional fiind un cîmp conservativ și avînd simetrie sferică admite o funcție potențială U(potențial gravitațional), funcție ce depinde numai de distanța r, adică :

$$\vec{\Gamma} = - \nabla U(r) = - \nabla \frac{\mathrm{d}U}{\mathrm{d}r} \cdot \frac{\vec{r}}{r}. \tag{3}$$

Înlocuind (2) în (3) și integrînd se obține :

$$U(r) = - k \frac{M}{r}. \tag{4}$$

$U(r)$ reprezintă lucrul mecanic necesar transportului unității de masă din punctul respectiv la infinit. Semnul minus se datorează caracterului atractiv al forțelor gravitaționale. În acest caz potențialul gravitațional la infinit este nul.

Pentru Pămînt expresia (4) poate fi pusă sub altă formă. Forța de atracție dintre Pămînt și corpul de masă m nu este altceva decît greutatea corpului în punctul respectiv.

$$F = G \Rightarrow k \cdot \frac{mM}{r^2} = m \cdot g \Rightarrow g = k \cdot \frac{M}{r^2} = \Gamma(r) \tag{5}$$

Pentru $r = R$ (punct la suprafaţa Pămîntului, unde $g = g_0$), avem din (5) :

$$g_0 = k\frac{M}{R^2} \Rightarrow k \cdot M = g_0 \cdot R^2 \tag{6}$$

Atunci relaţia (4) devine :

$$U(r) = -\frac{g_0 R^2}{r} \tag{7}$$

II. Masa asociată fotonului. Explicarea legilor efectului fotoelectric dată de Einstein se sprijinea pe ipoteza că orice undă de frecvenţă ν, deci de energie $h \cdot \nu$ se comportă ca un corpuscul (foton) căruia i se asociază o masă şi un impuls date de relaţiile :

$$m_f = \frac{h\nu}{c^2}; \quad p_f = \frac{h\nu}{c} \tag{8}$$

unde $h = 6{,}625 \cdot 10^{-34}$ J. s este constanta lui Planck.

Cu această ipoteză explicarea efectului fotoelectric, a efectului Compton, etc. devine simplă. De adăugat că masa asociată fotonului (interpretată ca masă de mişcare) se bucură de toate proprietăţile pe care le are masa în general.

O astfel de interpretare a masei asociate a fotonului a condus pe Einstein la ideea că trebuie să existe o influenţă a cîmpului gravitaţional asupra mişcării fotonului. Einstein a indicat că în vecinătatea maselor mari, razele de lumină trebuie să se abată de la traiectoria lor rectilinie (curbarea traiectoriei). Aceasta este o consecinţă a teoriei relativităţii generalizate. Abaterea de la traectoria rectilinie se face fără modificarea frecvenţei fotonului.

Este posibilă totuşi o interacţie a fotonului cu cîmpul gravitaţional care să aibă drept efect o modificare a frecvenţei fotonului, consecinţă a teoriei relativităţii şi unităţii lumii materiale, ceea ce vom arăta mai jos.

III. *Calculul variaţiei frecvenţei fotonilor la deplasarea în cîmpuri gravitaţionale.* A. Fie un corp de masă M şi de rază R, la suprafaţa căruia este generat (emis) un foton de frecvenţă ν_0, deci de energie $h\nu_0$. Presupunem că fotonul se deplasează pe direcţia radială AB. La un moment ulterior fotonul se va afla în punctul M situat la distanţa r' de O. Pe distanţa AM, deoarece fotonului i se asociază o masă cu proprietă-

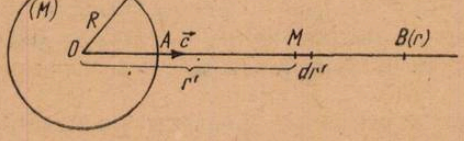


Fig. 2

ţile pe care aceasta le are în general, cîmpul gravitaţional a efectuat un lucru mecanic asupra fotonului avînd drept rezultat scăderea energiei acestuia. Deoarece unul din postulatele teoriei relativităţii interzice

modificarea vitezei de propagare a fotonului, rezultă că scăderea energiei fotonului se face pe seama scăderii frecvenţei acestuia. În M frecvenţa fotonului va fi $\nu < \nu_0$ şi masa sa :

$$m_f = \frac{h\nu}{c^2} \tag{9}$$

Pentru a evalua cantitativ modificarea de frecvenţă, fie în M_0 deplasarea elementară dr. Forţa ce se exercită asupra fotonului pe această distanţă este constantă şi egală cu :

$$F = m_f \Gamma = \frac{h\nu}{c^2} \cdot k \frac{M}{r'^2} \tag{10}$$

Lucrul mecanic elementar efectuat de cîmpul gravitaţional pe distanţa dr' este :

$$dL = F \cdot dr' = \frac{h\nu}{c^2} \cdot k \frac{M}{r'^2} dr' \tag{11}$$

Lucrul mecanic elementar (11) trebuie să fie egal cu scăderea de energie a fotonului pe distanţa dr' :

$$dE = h\, d\nu \tag{12}$$

Egalînd (11) cu (12) şi integrînd între limitele ν_0 şi ν pentru frecvenţă şi R şi r pentru distanţă, se obţine :

$$\frac{d\nu}{\nu} = -\frac{kM}{c^2 r^2} dr' \tag{13}$$

adică :

$$\nu = \nu_0 e^{-\frac{kM}{c^2}\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r}\right)} \tag{14}$$

Relaţia (14) dă frecvenţa fotonului în punctul B după ce a parcurs distanţa AB în cîmpul gravitaţional. Se observă că variaţia de frecvenţă e cu atît mai mare cu cît masa M este mai mare, şi cu cît raza R este

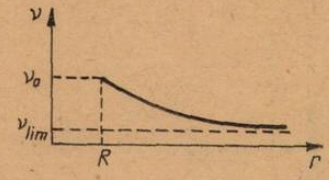


Fig. 7

mai mică. Figura alăturată dă dependenţa frecvenţei de distanţa r. Este caracteristic faptul că pentru $r \to \infty$, frecvenţa ν tinde către o valoare limită. Observaţie : relaţia (13) după modificări simple devine :

$$m_f \cdot \Gamma(r') \cdot dr' = -dm_f c^2$$

sau : $F \cdot dr' = -dm_f c^2$.
ceea ce nu este altceva decît consecinţa legăturii relativiste dintre masă şi energie (aici lucru mecanic).

B. Calculul variației frecvenței fotonilor în cîmpul gravitațional terestru. În cazul cîmpului gravitațional terestru M și R din relația (14) sînt masa și respectiv raza Pămîntului. Ținînd seamă de relația (6), relația (14) devine:

$$\nu = \nu_0 e^{\frac{-g_0 R^2}{c^2}\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r}\right)} = \nu_0 e^{-\frac{1}{c^2}[U(R) - U(r)]} \tag{15}$$

Relația (15) capătă o formă mai simplă pentru cazul în care distanța r este mult mai mare decît R, adică în cazul în care fotonul este la distanță mare de punctul unde a fost emis ($r >> R$, $1/r \to 0$)

În acest caz:

$$\nu = \nu_0 e^{-\frac{g_0 R}{c^2}}. \tag{16}$$

Variația frecvenței fotonului pentru distanțe mari față de centrul Pămîntului va fi:

$$\Delta\nu = \nu_0 - \nu = \nu_0 \left(1 - e^{-\frac{g_0 R}{c^2}}\right) \tag{17}$$

Factorul de la exponent $g_0 R/c^2 = 6{,}952 \cdot 10^{-10} << 1$ (fiind mult mai mic decît unitatea), după dezvoltarea în serie se obține:

$$\Delta\nu = \nu_0 \left[1 - \left(1 - \frac{g_0 R_0}{c^2}\right)\right] = \nu_0 \frac{g_0 R}{c^2}.$$

Deci:

$$\Delta\nu = \nu_0 - \nu = \nu_0 \frac{g_0 R}{c^2}. \tag{18}$$

sau:

$$\boxed{\nu = \nu_0 \left(1 - \frac{R}{c^2} g_0\right)} \tag{19}$$

În figura (4) este arătată dependența frecvenței fotonilor la distanță mare de Pămînt, funcție de frecvența pe care aceștia o au la emisia de la suprafața Pămîntului.

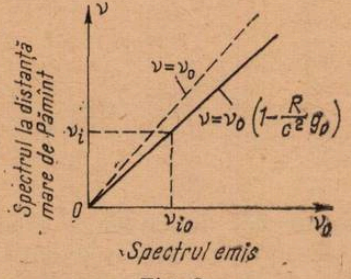


Fig. 8

De exemplu, variația de frecvență a luminii galbene a sodiului ($\nu = 6000$ Å) este:

$$\Delta\nu = \nu_0 \frac{R}{c^2} g_0 = \frac{c}{\lambda_0} \frac{R}{c^2} g_0 = \frac{R}{\lambda_0 c} g_0 = 347{,}6 \text{ kHz}.$$

Pentru aceeaşi undă, modificarea de frecvenţă, dacă lumina este emisă la suprafaţa Soarelui, este sensibil mai mare. Luînd pentru Soare $g_0 = 275$ m/s^2 şi $R = 695\,500$ Km se obţine:

$$\Delta\nu = \frac{R}{\lambda_0 c} g_0 = 1{,}062 \cdot 10^9 \text{ Hz}$$

Aceste modificări de frecvenţă deşi relativ mici — dat fiind ordinul mare de mărime al frecvenţelor undelor electromagnetice, pot fi puse probabil în evidenţă (de exemplu prin absorbţia rezonantă a undelor). Ne putem face, o idee asupra ordinului de mărime a acestei modificări de frecvenţă dacă vom calcula viteza cu care un observator trebuie să se apropie de astru pentru ca prin efect Doppler să anuleze deplasarea de frecvenţă datorită cîmpului gravitaţional.

Astfel, pentru Pămînt viteza de deplasare a observatorului trebuie să fie de 0,2 m/s, iar pentru Soare de 637, 45 m/s.

Rezultă deci că deplasarea de frecvenţă în urma interacţiei fotonului cu cîmpul gravitaţional este nesemnificativă pentru mase mici, dar devine apreciabilă pentru mase mari.

(urmare într-un număr viitor)

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

CĂTRE COLABORATORII NOȘTRI,

Articolele, notele și orice materiale destinate publicării în Revista de Fizică și Chimie seria A trebuie să fie redactate clar și concis (maximum 10 pagini dactilografiate la două rînduri) în două exemplare, însoțite de figuri desenate separat de text, cît mai sugestive, de preferință în tuș pe calc. Fotografiile trebuiesc executate în contrast puternic alb-negru. Figurile și fotografiile trebuiesc trimise de asemenea în două exemplare.

Articolele trebuiesc semnate (dactilografiat) imediat sub titlu împreună cu titlul didactic și localitatea autorului.

Pe ultima pagină, pe ambele exemplare trebuie scrisă complet adresa autorului.

În același plic cu materialul colaboratorii noștri sînt rugați să introducă și o carte poștală cu adresa proprie (la destinatar) pentru a ne ajuta în promtitudinea răspunsului.

Materialele ne publicate nu se restituie autorilor.

Pe adresa redacției primim propunerile și sugestiile Dvs. cu privire la tematica Revistei, note critice asupra articolelor publicate pînă acum.

Dorim ca Revista de Fizică și Chimie să vă fie de un real folos în activitatea Dvs. științifică și didactică.

Comitetul de Redacție

I. P. Informația — c. 2380

Index 43 459

Lei 3

SOCIETATEA DE ȘTIINȚE FIZICE ȘI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista DE FIZICĂ ȘI CHIMIE

SERIA A
VOLUMUL VIII

7

IULIE 1971

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE
STR. NUFERILOR 23, SECTORUL 7 BUCUREȘTI – 46 TELEFON 16.42.86

SUMAR

Pag.

R. Grimberg, C. Naum, Iași

1. Rezonanța feromagnetică de joasă frecvență 241

Conf. dr. *Sorin Mager*, Cluj

2. Probleme de configurație și conformație în clasa glucidelor 245

I. Deutsch, N. Morariu, M. Gonciar, Brașov

3. Aparat didactic pentru studiul vibrațiilor de răsucire 259

Prof. *Stegaru Marin*, Slatina

4. Considerații asupra predării fizicii semiconductorilor în liceele de cultură generală și de specialitate 263

Prof. *Adriana Elena Teodoru*, București

5. Probleme psihologice ale gîndirii specifice obiectului fizică 275

COMITETUL DE REDACȚIE

Constantin D. Albu, lector univ.; **Teodor Bohățiel**, asist. univ., **Simion Bulgărea** prof. **Maria Codreanu**, prof.; **Andra Körner**, redactor; **Nicole Martalogu**, conf. univ. **Eleonora Mihul**, cercetător; **Ion C Moisil**, conf. univ.; **Alice Negoescu**, prof. **Ion C. Petrea**, conf. univ.; **Victor Sahini**, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România); **Elena Teodoru**, prof.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

SERIA A

Volumul VIII, nr. 7 iulie 1971

REZONANŢA FEROMAGNETICĂ DE JOASĂ FRECVENŢĂ

R. GRIMBERG şi *C. NAUM*, Centrul de Cercetări Fizice — Iaşi

Într-o lucrare anterioară [1] am examinat rezonanţa feromagnetică la corpurile masive, arătînd că problemele care se pun sînt principial diferite de cele puse în cazul rezonanţei feromagnetice a păturilor subţiri feromagnetice. Rezonanţa feromagnetică la pături subţiri serveşte ca metodă de studiu pentru determinarea proprietăţilor lor magnetice [2]—[4]. Existenţa în pătură a unei anizotropii monoaxiale permite însă, spre deosebire de cazul corpului masiv, folosirea rezonanţei feromagnetice şi în domeniul frecvenţelor joase (de ordinul megahertzilor) [5]—[7].

Să considerăm un sistem alcătuit din două cîmpuri magnetice, un cîmp de înaltă frecvenţă de amplitudine $H_\sim$ şi un cîmp continuu de amplitudine $H_\perp$, perpendiculare între ele. Deoarece la pături mărimea cîmpului de anizotropie este o mărime deosebit de semnificativă în ceea ce priveşte fenomenele de remagnetizare, se introduc mărimile normate ale cîmpurilor definite ca :

$$h_\sim = \frac{H_\sim}{H_k} \qquad h_\perp = \frac{H_\perp}{H_k} \tag{1}$$

cu H_k, amplitudinea cîmpului de anizotropie.

Pentru cazul în care cîmpul $h_\perp$ face cu axa de uşoară magnetizare un unghi ψ, frecvenţa de rezonanţă este dată de relaţia :

$$\omega_0 = \omega_k \left[\cos 2\theta_0 + h_\perp \cos(\psi - \theta_0)\right]^{1/2} \tag{2}$$

în care :

$\omega_k = \gamma\sqrt{4\pi M H_k}$; γ este factorul giromagnetic ; M este mărimea magnetizării ; θ_0 este unghiul dintre axa de uşoară magnetizare şi magnetizarea M (fig. 1).

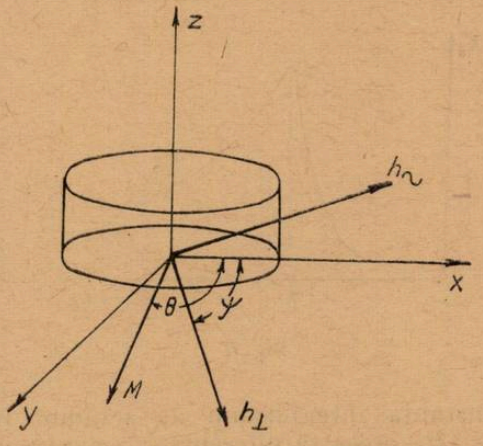


Fig. 1

La frecvenţe suficient de înalte, pentru $h_\perp \gg l$ relaţia (2) se verifică experimental.

Pentru $\psi = \pi/2$ şi $\omega_0 \ll \omega_k$, mărimea cîmpului exterior H_p care corespunde maximului liniei de absorbţie, coincide ca mărime cu cîmpul de anizotropie.

Ajungem astfel la situaţia în care condiţia tipică de rezonanţă : $\omega = \gamma H$, (3) nu mai este îndeplinită, căci indiferent de mărimea lui ω_0,

atîta timp cît ea se menține mult mai mică decît ω_k, rezonanța feromagnetică de joasă frecvență se obține pentru aceeași valoare a cîmpului exterior și anume pentru $h_\perp = 1$, adică pentru un cîmp exterior egal cu cel de anizotropie.

Acest fenomen poate fi explicat cu ajutorul teoriei monodomenice. Pe baza acestei teorii, dependența susceptibilității magnetice a peliculei funcție de $h_\perp$, pentru un cîmp de înaltă frecvență de amplitudine mică $h_\sim \to 0$, este dată de :

$$\chi_{||} \sim \frac{1}{h_\perp - 1} \tag{4}$$

în care $\chi_{||}$ este susceptibilitatea magnetică pentru cazul în care $\psi = \pi/2$.

În cazul rezonanței feromagnetice de joasă frecvență, deci a rezonanței care se produce pentru valori ale cîmpului $H_\perp = H_k$ ($h_\perp = 1$), susceptibilitatea magnetică ar trebui să fie infinită. Această susceptibilitate este determinată de rotirea magnetizării sub acțiunea cîmpului $h_\sim$. Datorită faptului că sistemul de spini se rotește amortizat, susceptibilitatea măsurată paralel cu axa de ușoară magnetizare a păturii, în momentul rezonanței, are valoare maximă dar finită.

Pentru $h_\perp \leqslant 1$ în pătură nu apar monodomenii, ea caracterizîndu-se prin existența cîmpurilor de împrăștiere mari, între domenii cu diferite direcții ale magnetizării. Apar procese ireversibile de variație a stării de magnetizare a domeniilor izolate ale păturei, care duc la creșterea suplimentară a cîmpului de dispersie. Aceste cîmpuri vor bloca rotația magnetizării sub acțiunea cîmpului $h_\sim$, rezultînd astfel că $\chi_{||}$ se micșorează brusc.

Pentru $h_\perp \geqslant 1$ configurația devine tot mai stabilă, astfel că fenomenele de remagnetizare se produc din ce în ce mai greu, $\chi_{||}$ micșorîndu-se mai greu.

Variația lui $\chi_{||}$ în funcție de $h_\perp$ este prezentată în fig. 2.

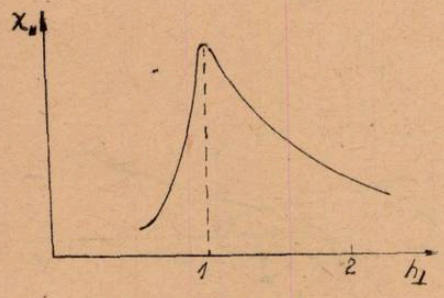


Fig. 2

În ultimul timp s-a pus în evidență faptul că amplitudinea cîmpului de rezonanță nu coincide cu cîmpul de anizotropie.

Legătura între cele două cîmpuri este după [8] dată de :

$$H_0 = H_k + \frac{1}{15A}\left(\frac{D^8 K^8 \chi^2}{M_s}\right)^{1/5} \tag{5}$$

în care :

D = diametrul mediu al cristaliților ; K = constanta cristalografică de anizotropie ; A = constanta interacțiunii de schimb. Din (5) se vede întotdeauna că $H_0 > H_k$. Această diferență este determinată de mărimea anizotropiei magnetice cristaline și de dimensiunile cristaliților, nedepinzînd de anizotropia indusă.

Lățimea liniei de rezonanță este dată de :

$$\Delta H = \Delta H_0 + \Delta H_\alpha \tag{6}$$

în care ΔH_α reprezintă lățimea suplimentară a liniei de absorbție de rezonanță datorită amortizării rotației magnetizării.

$$\Delta H_\alpha = \frac{2\alpha\omega_0}{\gamma} \tag{7}$$

în care α este constanta de amortizare. Pentru ω_0 suficient de mic, $\Delta H_\alpha \simeq 0$ și astfel $\Delta H \simeq \Delta H_0$.

Dacă axa de anizotropie face cu $h_\perp$ un unghi mai mare ca $\pi/2$, adică $\psi = \pi/2 + \delta$, dependența frecvenței și cîmpului de rezonanță de unghiul δ este mult mai complicată. Lățimea liniei de rezonanță depinde de asemenea de δ.

Metodă de observare a rezonanței feromagnetice de joasă frecvență

Pentru observarea rezonanței feromagnetice de joasă frecvență se studiază variația magnetizării păturii introduse în bobina unui circuit oscilant, care rezonează pe frecvența ω_0.

Componenta magnetizării păturii după axa bobinei va fi :

$$M = (M' - jM'')\ e^{j\omega_0 t} \tag{8}$$

atunci cînd cîmpul de înaltă frecvență H_1 este de forma :

$$H_1 = H_\sim e^{j\omega_0 t} \tag{9}$$

Se poate defini o „susceptibilitate la rezonanță" a păturii studiate de forma :

$$\chi_{||} = \frac{M}{H_1} = \chi' - j\chi'' \tag{10}$$

Apare astfel că susceptibilitatea nu mai este o mărime reală ci are un caracter complex. Susceptibilitatea magnetică paralelă poate fi determinată și prin măsurători de rezonanță feromagnetică propriu zisă. În acest caz însă susceptibilitatea ia o formă tensorială.

Impedanța bobinei fără eșantion de studiat este :

$$Z_B = r + j\omega L \tag{11}$$

în care : r = rezistența pur ohmică ; L = inductanța bobinei.

Datorită introducerii păturii feromagnetice în interiorul bobinei, inductanța ei variază, ca urmare a variației permeabilității :

$$Z'_B = r + j\omega L' \tag{11'}$$

în care : $L' = \mu L = (1 + \chi_{||})\ L = [1 + (\chi' - j\chi'')]\ L$; (11') devine acum :

$$Z'_B = r + j\omega\ [1 + (\chi' - j\chi'')]\ L = (r + \omega L\chi'') + j\omega\,(1 + \chi')\,L$$

Notînd cu $Q = \frac{L\omega}{r}$, factorul de calitate al bobinei fără pătură și cu $Q' = \frac{L'\omega}{r}$, factorul de calitate al bobinei cu pătură, între Q și Q' găsim relația :

$$\frac{1}{Q'} = \frac{1}{Q} + \chi'' - \frac{\chi'}{Q} \tag{12}$$

Dacă bobina are un factor de calitate bun, relația (12) se poate scrie :

$$\frac{1}{Q'} - \frac{1}{Q} \simeq \chi'' \tag{13}$$

Din (13) se vede că metoda de măsurare a rezonanței feromagnetice de joasă frecvență se reduce în esență la o metodă de măsură a variației factorului de calitate a unui circuit oscilant.

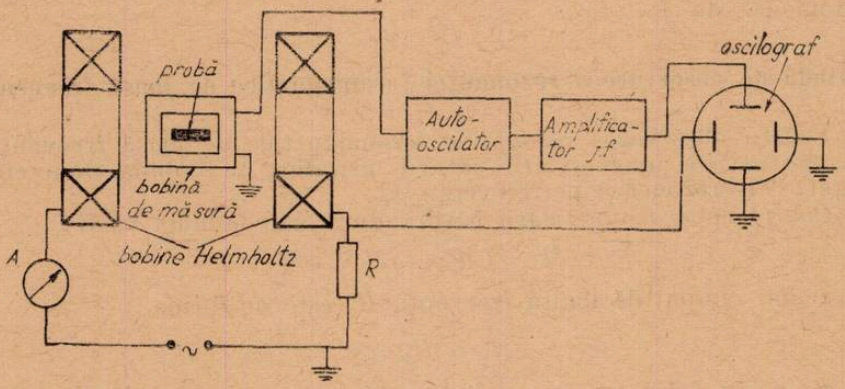


Fig. 3

Schema instalației folosită pentru studiul rezonanței este prezentată în fig.3.

Bobina circuitului oscilant este plasată într-un sistem de bobine Helmholtz care crează cîmpul $h_{\perp}$.

Autooscilatorul crează cîmpul $h_{\sim}$ și tot el face detecția. Semnalul detectat și amplificat este aplicat plăcilor de deflexie verticală ale unui osciloscraf. Semnalul de pe verticală este proporțional cu χ'', iar cel de pe orizontală cu $h_{\perp}$.

Autorii au măsurat cu această metodă H_k la pături de permalloy cu 81% Ni, obținînd $H_k = 3{,}5$ Oe și $\Delta H = 0{,}5$ Oe.

BIBLIOGRAFIE

[1] — *Grimberg R.* Rev. Fiz. Chimie nr. 6/1971
[2] — *Griffits I. H.* — Physica — 17, 253 (1951)
[3] — *Frait Z.* — Czech · Journ. Phys. 11, 360 (1961)
[4] — *Kirenskii L. V.* — Izv. A. N. SSSR. ser fiz. 25, 642, (1961)
[5] — *Hasty T, Boudreaux L. I.* — J. Appl. Phys. 32, 1807 (1961)
[6] — *Rossing T. D.* — J. Appl. Phys. 34, 995 (1963)
[7] — *Lesnic A. G. Levin G. I.* — Izv. A.N. SSSR ser. fiz. 29, 562 (1965)
[8] — *Harte K. și col.* Phy. Stat. Solidi 15, 225 (1965)

PROBLEME DE CONFIGURAȚIE ȘI CONFORMAȚIE ÎN CLASA GLUCIDELOR

Conf. Dr. *SORIN MAGER*, Fac. de Chimie, Univ. Babeș-Bolyai, Cluj

1. Noțiunea de configurație și conformație

Noțiunea de *configurație* introdusă în chimie odată cu apariția teoriei stereochimice se referă la aranjamentul rigid în spațiul tridimensional al atomilor sau grupelor de atomi care formează molecula unui compus organic. Adesea acest termen se referă exclusiv la problema izomeriei optice, adică la aranjamentul spațial al atomilor sau grupelor de atomi legate de un atom de carbon asimetric, însă în general el poate fi la fel de bine utilizat și în cazul izomeriei geometrice, adică la precizarea configurației cis sau trans față de o dublă legătură sau față de un ciclu.

Configurația unei substanțe nu poate fi modificată în principiu decît prin ruperea unor legături chimice și formarea altora noi, indiferent de apartenența substanței respective la cazul izomeriei optice sau geometrice.

Noțiunea de *conformație* se referă la un anumit aranjament geometric momentan al atomilor unei molecule în spațiul tridimensional, care survine ca rezultat al rotației restrînse în jurul unor legături simple. Izomerii conformaționali (conformerii) se pot deci transforma unii în alții prin răsucirea uneia sau mai multor legături, fără să fie necesară ruperea unor legături covalente, ca în cazul izomerilor configurației. Diferiții conformeri ai unei molecule au aceeași configurație.

În cadrul unei rotații complete în jurul unei legături simple o moleculă de tipul etanului, de exemplu, poate adopta o infinitate de conformații, dintre care se remarcă prin pozițiile extreme *conformația „eclipsată"* și cea *„intercalată"* reprezentate în fig. 1, prin formularea perspectivică (Ie, Ii) și prin formula de proecție simplă (IIe, IIi) sau formula de proecție Newman (IIIe, IIIi).

Între conformațiile posibile ale unei molecule există întotdeauna un echilibru care în majoritatea cazurilor este deplasat înspre o confor-

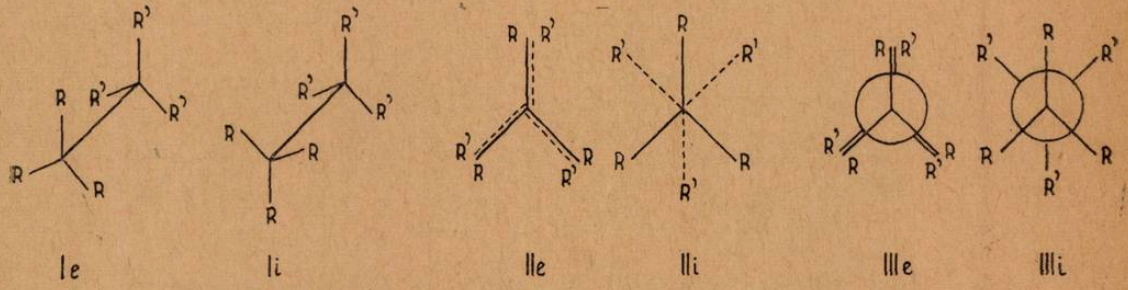


Fig. 1. Conformații eclipsate și intercalate pentru o moleculă de tipul etanului.

mație privilegiată, mai stabilă, cu energia internă minimă corespunzînd unei interacțiuni sterice minime între atomii nelegați direct unul de altul. Conformațiile mai stabile sînt deci cele intercalate.

Luînd în discuție cazul ciclohexanului, acesta poate să apară fie în conformația scaun (IV) fie în conformația bae (V) interconvertibile prin simple mișcări de rotație în jurul axelor ce leagă atomii de carbon între ei (fig. 2). Deoarece în conformația scaun toți atomii de hidrogen ocupă poziții intercalate, în timp ce în conformația bae patru perechi de atomi de hidrogen sînt eclipsați (așa după cum se observă mai bine din reprezentările în perspectivă IVa și Va din fig. 2), conformerul scaun este cel mai stabil.

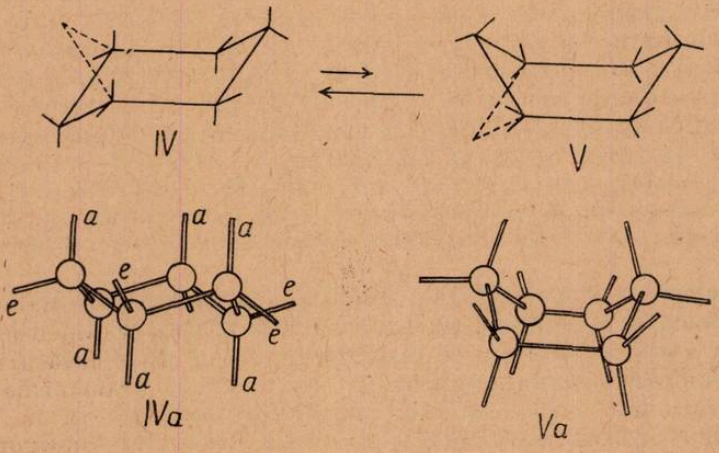


Fig. 2. Forma scaun și bae a ciclohexanului.

Făcînd referire doar la conformația scaun, mai stabilă, se remarcă posibilitatea existenței a două forme scaun, IV și IV', care se obțin una din alta prin mișcările de rotație în jurul legăturilor C—C (indicate în fig. 3) și care au ca rezultat transformarea tuturor atomilor de hidrogen axiali în ecuatoriali și invers.

În cazul ciclohexanului nesubstituit, substanțele reprezentate de cele două formulări IV și IV' sînt echivalente, pe cînd în cazul existenței unui

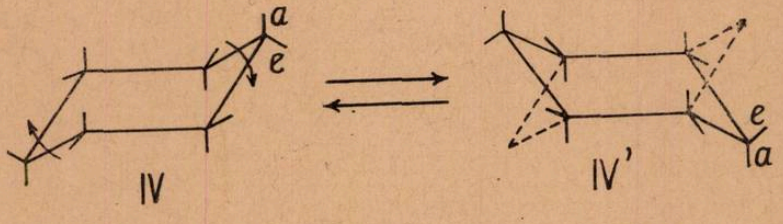


Fig. 3. Cele două conformații scaun echivalente ale ciclohexanului nesubstituit.

substituent cele două formulări se diferențiază între ele, una posedînd substituentul în poziție ecuatorială (VI), iar cealaltă în poziție axială (VIa). Mai stabilă este forma VI, care posedă substituentul mai voluminos (decît hidrogenul) în poziție ecuatorială.

Datorită diferenţelor mici dintre energia internă a conformerilor (atît în cazul hidrocarburilor aciclice cît şi a celor ciclice) şi ca urmare a barierelor joase de energie ce trebuiesc depăşite pentru a trece de la un conformer la celălalt, nu s-a putut realiza separarea izomerilor conformaţionali.

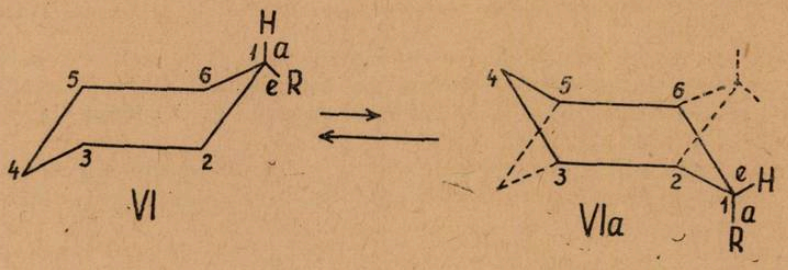


Fig. 4. Cei doi conformeri ai ciclohexanului monosubstituit cu substituentul în poziţie ecuatorială sau axială.

2. Formulări pentru structura liniară a ozelor

În clasa glucidelor problemele structurale legate de configuraţie şi conformaţie joacă un rol deosebit de important, pe de o parte datorită prezenţei în moleculă a atomilor de carbon asimetrici şi pe de altă parte datorită fenomenului de liberă rotaţie, care se manifestă într-o măsură

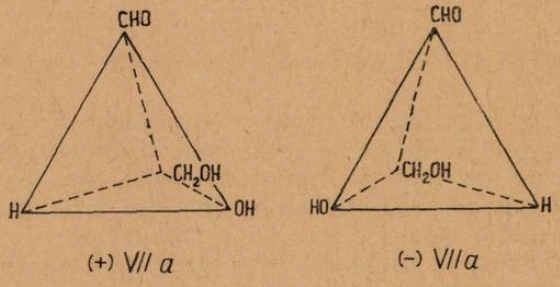
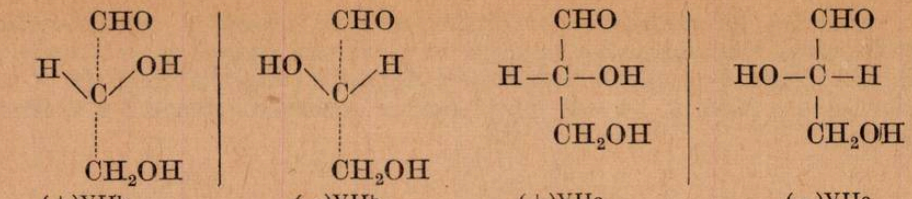


Fig. 5. Formulele de configuraţie ale aldehidei D— şi L-glicerice.

mai mică sau mai mare atît în cazul structurii liniare (VIII) cît şi a celei ciclice (VIII o, q).

Cea mai simplă glucidă, aldehida glicerică, care conţine în moleculă un atom de carbon asimetric, poate fi reprezentată cu ajutorul *formulelor de configuraţie* (+) VIIa şi (—)VIIa, care oferă imaginea tridimensională a celor doi antipozi optici, cu ajutorul *formulelor perspectivice* (+)VIIb şi (—)VIIb, mai simplificate, în care liniile punctate reprezintă valenţele (îndreptate spre vîrfurile unui tetraedru), orientate în dosul planului hîrtiei, iar cele pline, deasupra acestui plan şi în fine cu ajutorul *formulelor de proecţie* (+)VIIc şi (—)VIIc, utilizate în mod uzual.



(+)VIIb (−)VIIb (+)VIIc (−)VIIc

Trecerea de la formulele de configurație și perspectivice la cele de proecție se face ținînd cont de convenția lui Fischer, care precizează că grupările de deasupra planului se scriu în dreapta și în stînga, iar cele de dedesubtul planului sus și jos.

Cu ajutorul reprezentărilor (+)VIId și (−)VIId din fig. 6 se poate observa mai ușor trecerea de la formulele de configurație și perspectivice

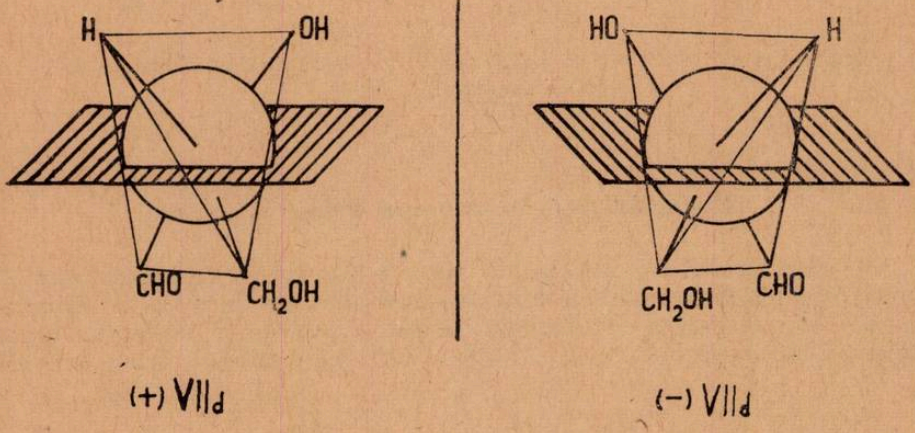
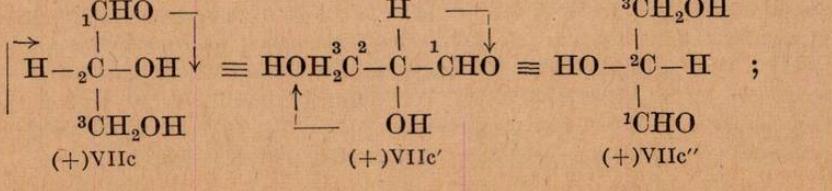


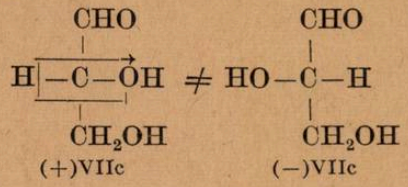
Fig. 6. Reprezentări tridimensionale ale aldehidei D— și L-glicerice.

la cele de proecție. Caracteristic pentru formulele de configurație care redau structura reală a moleculei în spațiul tridimensional, este faptul că ele pot fi privite sau mișcate oricum în spațiu fără a-și pierde individualitatea. Formulele de proecție, mai simple dar mai puțin conforme cu realitatea (oferind doar o imagine bidimensională), nu pot fi supuse decît unor mișcări de rotație și translație *în plan*, în vederea verificării superpozabilității structurilor pe care le reprezintă. Rotirea lor în spațiu duce la confundarea structurii respective cu cea a enantiomerului său, astfel că ori de cîte ori se realizează răsturnarea în spațiu cu 180° a unei formule de proecție, trebuie inversată poziția tuturor substituenților de la atomii de carbon asimetrici, pentru ca noua formulă să mai poată reprezenta același enantiomer. Se observă că rotirea în plan a formulei (+)VIIc cu 90° sau cu 180° nu îi modifică semnificația, pe cînd rotirea în



(+)VIIc (+)VIIc′ (+)VIIc″

afara planului cu 180° face ca noua formulă să înfăţişeze antipodul (−)VIIc, reprezentat de prima.



3. Configuraţia ozelor şi seriile sterice D şi L

În mod arbitrar s-a atribuit aldehidei glicerice dextrogire (+) structura tridimensională reprezentată de formula de configuraţie (+)VIIa sau (+)VIIe, notată cu D. Din aceasta decurge şi formula aldehidei (−)L-glicerice, (−)VIIa sau (−)VIIe.

Ulterior, ca urmare a determinării configuraţiei absolute a acidului tartric (difracţia razelor X provocată de tartratul de sodiu şi rubidiu)

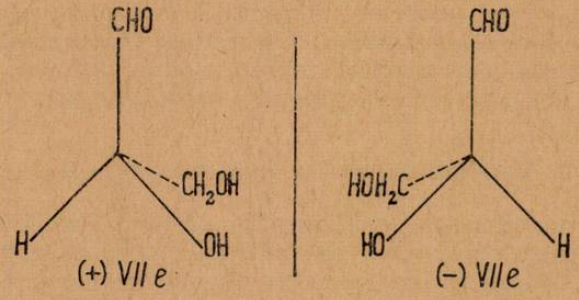
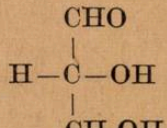
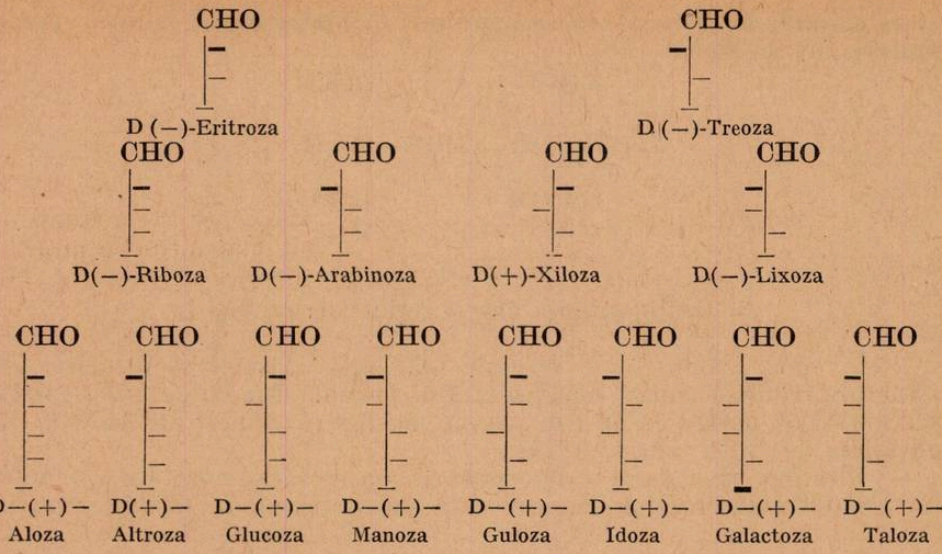


Fig. 7. Reprezentarea perspectivică a aldehidei D− şi L-glicerice.

şi a corelării acesteia cu cea a aldehidei (+)-D-glicerice s-a constatat că supoziţia făcută anterior în mod arbitrar (cu o şansă de 50% de a fi corectă, a fost exactă. Configuraţia aldehidei D şi L glicerice a fost luată ca referinţă convenţională în stabilirea configuraţiei ozelor cu mai mulţi atomi de carbon asimetrici. Prin lungirea catenei ozelor cu cîte un atom de carbon asimetric, numărul izomerilor optici creşte în conformitate cu cunoscuta regulă care precizează că o substanţă cu n atomi de carbon asimetrici se poate prezenta sub forma a 2^n izomeri optici. În cazul concret al unei aldohexoze, cu patru atomi de carbon asimetrici, pot să apară 16 izomeri optici, dintre care cei mai cunoscuţi sînt cei reprezentaţi de D-glucoză-, D-manoză, D-galactoză. Toate ozele care au configuraţia ultimului atom de carbon asimetric identică cu cea a aldehidei D-glicerice fac parte din seria D,



D (+) – Gliceroza



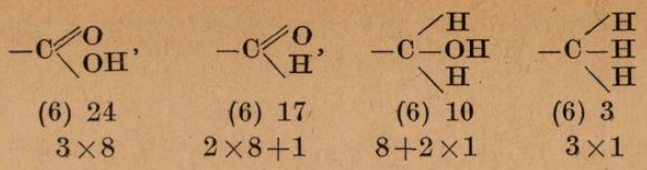
iar antipozii lor optici (care au configurația ultimului atom de carbon asimetric identică cu cea a aldehidei L-glicerice) fac parte din seria L. Așa dar D și L glucoza, de exemplu, reprezintă una din cele opt perechi de antipozi optici sub care se poate prezenta o aldohexoză.

4. Configurația ozelor după convenția R, S

Sistemul de notare a configurației pe baza corelării cu structura unor substanțe ce aparțin seriilor sterice D și L, poate da naștere în anumite cazuri la incertitudini. Din acest motiv Ingold, Prelog și Cahn (1956) au propus un sistem complet diferit de denumire și clasificare a substanțelor optic active, care ține cont de configurația absolută a fiecărui atom asimetric din moleculă și permite menționarea acesteia în însăși denumirea substanței. Sistemul constă în atribuirea unei *ordini de prioritate* substituenților legați la atomul asimetric.

Ordinea de prioritate este dată de numărul de ordine Z (număr atomic) al atomului legat de centrul de asimetrie, acordîndu-se prioritate celui cu numărul de ordine mai mare. Dacă doi substituenți se leagă de atomul asimetric prin atomi identici, prioritatea este stabilită de cel de al doilea atom al substituentului sau de următorul, în caz de egalitate. Cîteva exemple de ordine de prioritate descrescătoare pentru o anumită serie de substituenți sînt edificatoare :

I	Br	Cl	F	
53	35	17	9	
$-SH_2$,	$-OH$,	$-NH_2$,	$-CH_3$	
16	8	7	6	
$-N\begin{matrix}O\\O\end{matrix}$,	$-N=O$,	$-N\begin{matrix}H\\OH\end{matrix}$,	$-N\begin{matrix}H\\NH_2\end{matrix}$,	$-N\begin{matrix}H\\H\end{matrix}$
(7) 32	(7) 16	(7) 9	(7) 8	(7) 2
4×8	2×8	$8+1$	$7+1$	$1+1$



Configurația unui centru de asimetrie după sistemul preconizat de Ingold, Prelog și Cahn se stabilește privind atomul asimetric dinspre partea opusă substituentului cu prioritatea cea mai mică; dacă ordinea de prioritate a substituenților descrește în sensul acelor ceasornicului, pentru atomul asimetric respectiv se adoptă simbolul R (de la rectus = dreapta), iar dacă acest sens este invers acelor ceasornicului, simbolul S de la sinister = stînga).

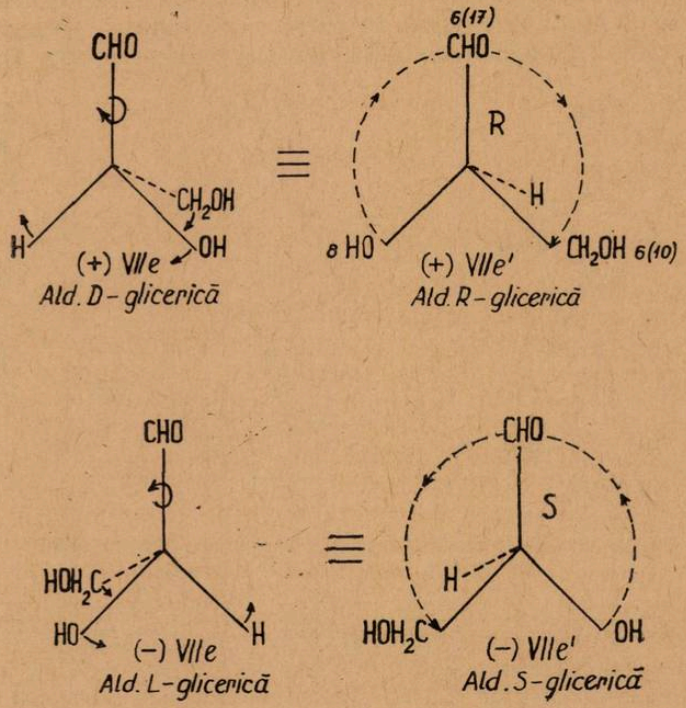
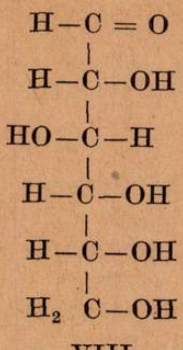


Fig. 8. Stabilirea configurației R și S pentru aldehida D— și L-glicerică.

Conform acestui sistem, după cum se vede din fig. 8, în care se realizează rotirile moleculelor (+)VII e și (−)VII e, în așa fel încît atomul de H să ajungă în spatele tetraedrului în (+)VII e' și (−)VII e', aldehida D-glicerică este echivalentă cu aldehida R-glicerică, iar aldehida L-glicerică cu cea notată cu S.

Aplicînd acest sistem de notare a configurației în cazul D-glucozei (VIII):



VIII

(+) – D-glucoza

formula acesteia poate fi scrisă sub formele VIIIa, b, c, d respectiv VIIIa b', c', d' (fig. 9), cu ajutorul cărora se poate analiza cu ușurință configurația fiecărui atom de carbon în parte, aplicîndu-se același procedeu ca și cel descris anterior în cazul aldehidei R și S glicerice (fig. 8). În fig. 10

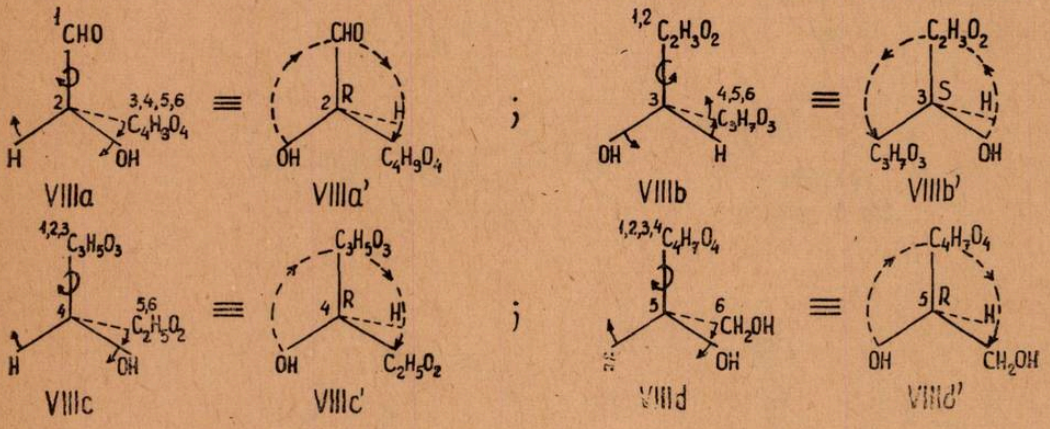


Fig. 9. Stabilirea configurației R și S pentru cei patru atomi de carbon asimetrici ai D–glucozei.

este reprezentată aceeași analiză a configurațiilor atomilor de carbon a glucozei, utilizîndu-se formulările conformaționale VIIIe și VIIIf și formulele de proecție Fischer corespunzătoare VIIIe', e'' și VIIIf', f''.

Așa după cum rezultă din analiza prezentată cu ajutorul figurilor 9 și 10, (+)-D-glucoza reprezintă 2(R), 3(S), 4(R), 5(R), 6 pentahidroxihexanalul în a cărei formulare este precizată configurația fiecărui atom asimetric din moleculă.

5. Conformația ozelor cu structură liniară

În ceea ce privește configurația ozelor, trebuie menționat faptul că datorită posibilității de liberă rotație în jurul legăturilor C–C, în fiecare configurație ozele se pot prezenta sub forma mai multor izomeri conformaționali a căror stabilitate variază în funcție de pozițiile relative ale

substituenților nelegați direct între ei. Un caz care se pretează bine unei exemplificări în acest domeniu îl reprezintă tetrozele, care având în moleculă doi atomi de carbon asimetrici se prezintă sub forma a patru izomeri optici care formează două perechi de antipozi : D— și L-eritroza * (—)IX

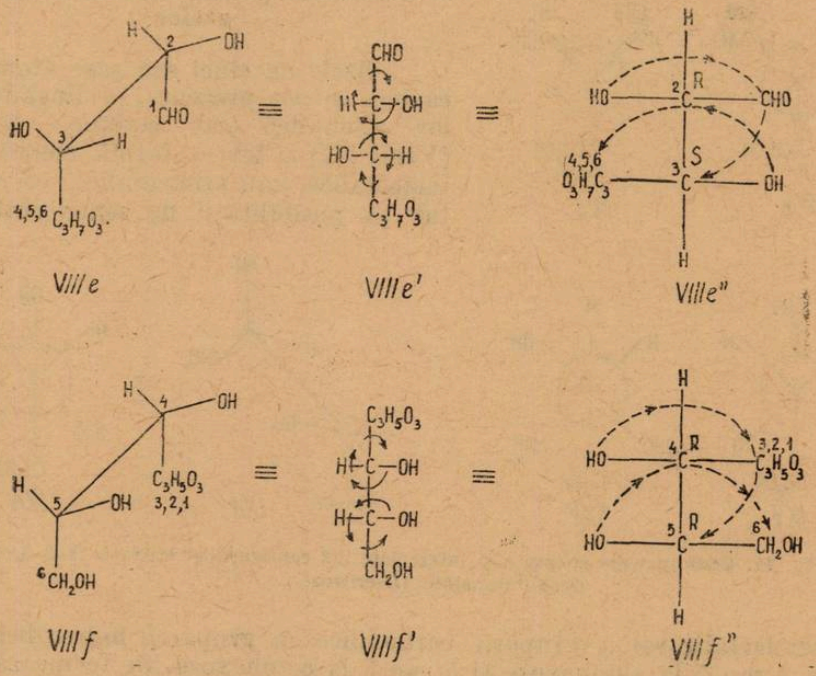
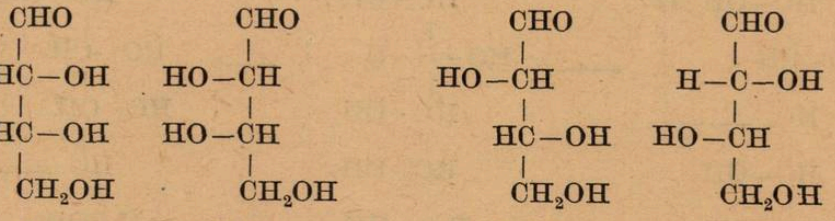


Fig. 10. Stabilirea configurației R și S pentru D-glucoză utilizînd formulele conformaționale și formulele de proecție Fischer.

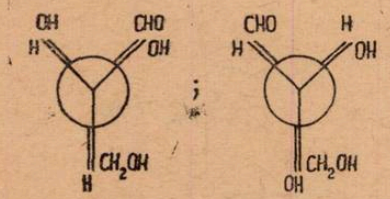
și (+)IX și D— și L-treoza * (—)X și (+)X.



Luînd în discuție doar cazul D-Eritrozei, pentru exemplificare se pot formula cele trei conformații eclipsate IX a, b, c și cele trei conformații intercalate IX d, e, f, care pot să apară ca rezultat al unei rotații complete în jurul legăturii ce leagă cei doi atomi de carbon asimetrici.

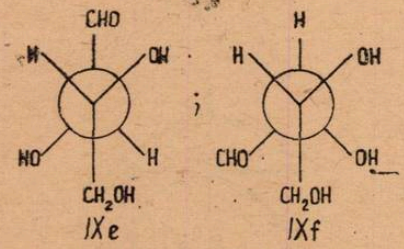
* De la numele eritrozei și treozei s-a acordat substanțelor cu doi atomi de carbon asimetrici vecini, sufixul „eritro" și „treo" configurațiilor corespunzătoare celor a eritrozei și a treozei.

Dintre conformațiile posibile, cele mai stabile sînt cele intercalate, iar dintre acestea cea mai stabilă este conformația IXe, în care grupările —CHO și —CH_2OH se află în pozițiile cele mai îndepărtate (anti).



6. Formulări pentru structura ciclică a ozelor

Ozele cu cinci sau șase atomi de carbon se pot prezenta, pe lîngă forma lor aldehidică (sau cetonică) liniară (VIII, XI) și într-o formă ciclică, semiacetalică (sau semicetalică) ca rezultat al posibilității de semiacetalizare



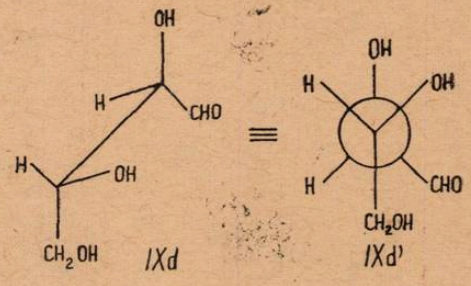
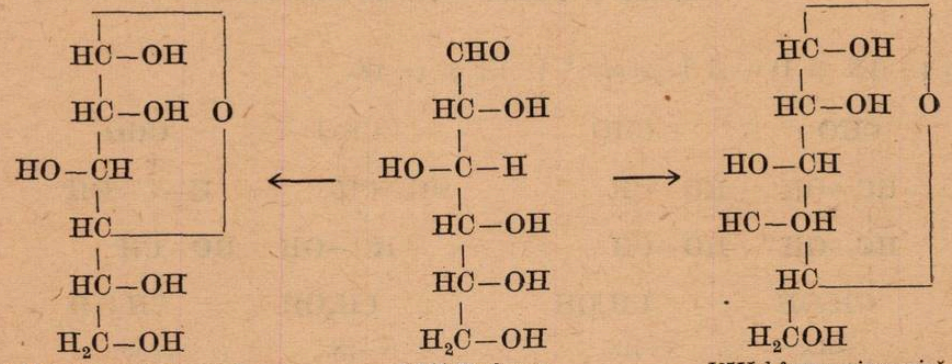


Fig. 11. Conformațiile eclipsate și intercalate ale configurației eritro a D-2, 3, 4-trihidroxibutanalului (D-eritrozei).

(sau semicetalizare) a grupării carbonilice cu gruparea hidroxilică din poziția 4 sau 5 la aldohexoze și 5 sau 6 la cetohexoze. Se formează astfel ciclurile furanozice sau piranozice.



VIII k forma furanozică (D-glucofuranoză)

VIII D-glucoza

VIII l forma piranozică (D-glucopiranoza)

Odată cu formarea semiacetalilor sau semicetalilor apare un nou atom de carbon asimetric (C1 la aldoze sau C2 la cetoze), care face ca numărul izomerilor optici să se dubleze (2^5 în loc de 2^4 la aldohexoze). Într-adevăr fiecare din cei 16 izomeri optici pe care îi poate prezenta o aldohexoză în forma liniară, apare sub forma a încă doi izomeri (pentru fiecare din cele două forme, furanozică și piranozică) notați cu α și β (α și β-D-glucoza, α și β-L-glucoza, α și β-D-galactoza, α și β-L-galactoza etc.).

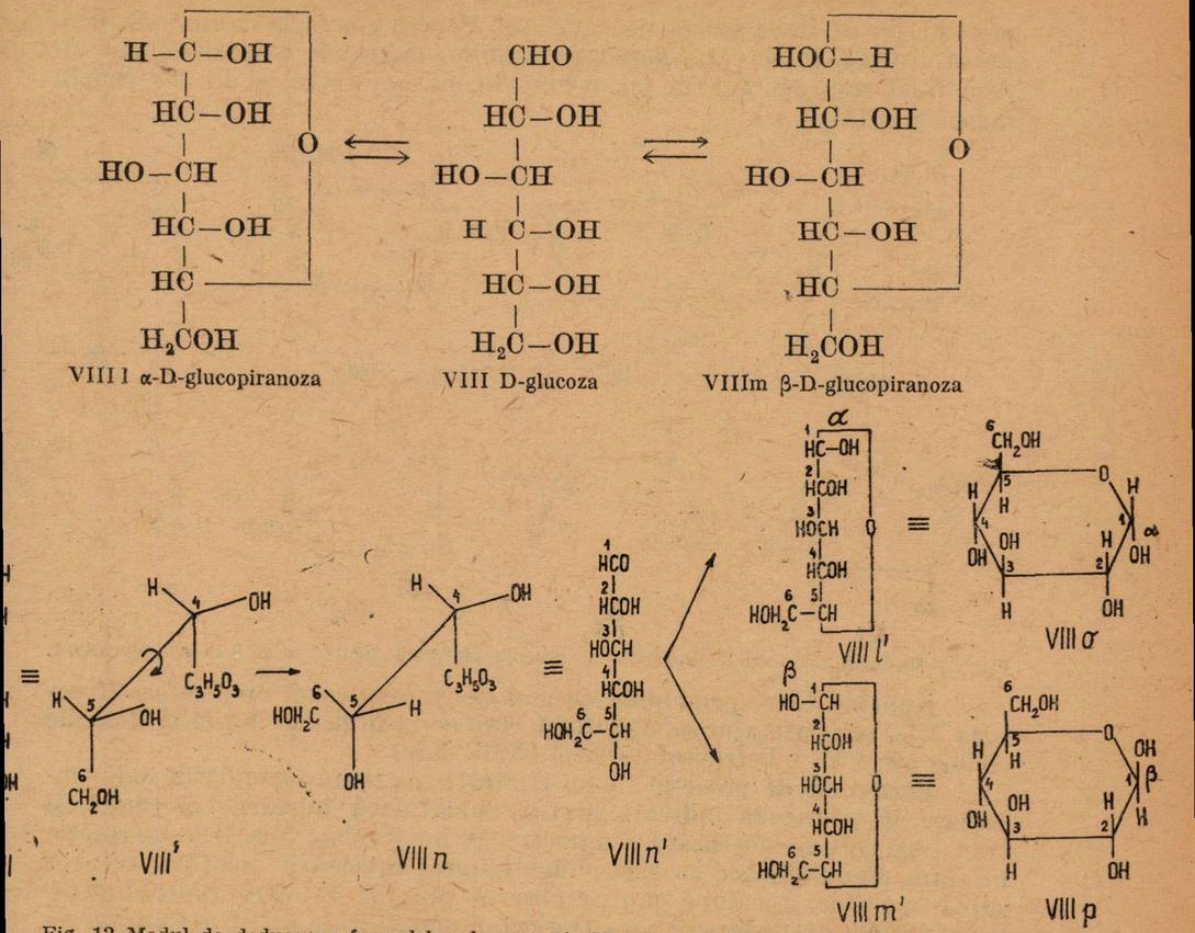


Fig. 12. Modul de deducere a formulelor de proecție Haworth pentru α și β-D-glucopirazonă

Formularea VIII l și VIII m nu redă suficient de fidel structura ciclică a D-glucozei, pentru că pe de o parte nu respectă proporțiile distanțelor dintre legături, iar pe de altă parte reprezintă puntea semiacetalică pornind din partea de jos a tetraedrului reprezentat de atomul C1 și sfîrșindu-se în partea superioară a tetraedrului reprezentat de atomul C5 (conform convenției lui Fischer, care precizează că grupările scrise la dreapta și stînga se află deasupra planului hîrtiei, deci la capetele muchiei superioare a tetraedrului, iar cele scrise sus și jos, sub planul hîrtiei, deci la capetele muchiei inferioare a tetraedrului (vezi și fig. 6).

Această din urmă deficiență a formulării poate fi remediată reprezentînd conformerul VIII n al D-glucozei obținut prin rotația ce are loc în jurul legăturii dintre atomii C4 și C5 (formulările VIII' și VIIIn reprezintă doi conformeri ale aceleiași configurații). De la formularea VIIIn' se pot scrie cu ușurință formulele α și β-D-glucozei VIII l' și VIIIm', respectîndu-se convenția lui Fischer.

O formulare mai apropiată de structura reală a moleculelor este reprezentată de *formulele ciclice de proecție a lui Haworth*, care respectă și proporțiile distanțelor dintre legăturile ce alcătuiesc ciclul. În aceste formulări substituenții de la dreapta lanțului sînt plasați sub planul

ciclului, iar cei de la stînga deasupra lui. Pentru glucidele din seria D, gruparea $-CH_2OH$ se scrie deasupra ciclului, gruparea hidroxilică glicozidică fiind reprezentată în jos pentru forma α (VIIIo) și în sus pentru forma β (VIIIp).

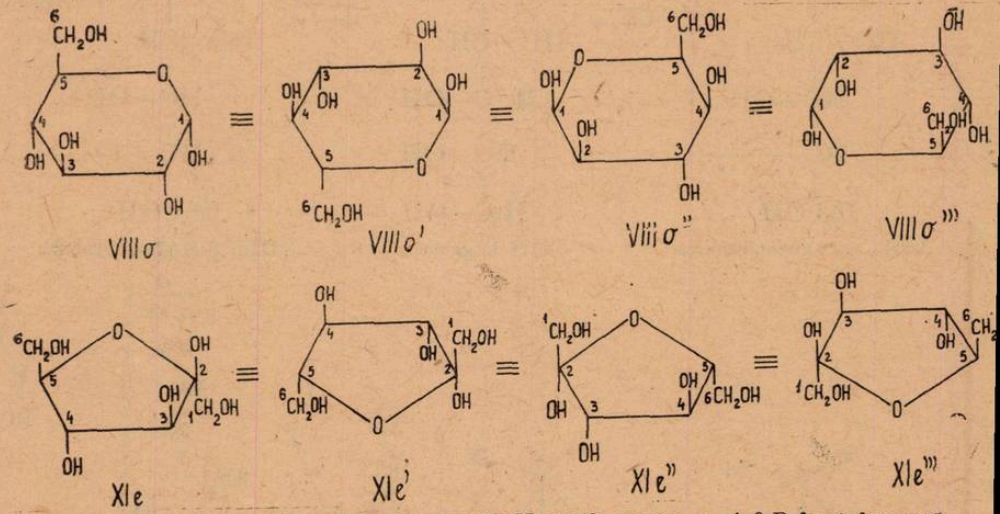


Fig. 13. Modul de deducere a formulelor de proecție Haworth pentru α și β-D-fructofuranoză.

Aplicînd toate principiile de mai sus pentru cazul unei cetoze (fructoza XI), se poate ajunge, așa după cum se vede în fig. 13, la structurile ciclice ale α și β D-fructofuranozei (XId, XIe).

Formulele de proecție ale lui Haworth, ca toate formulările bidimensionale, își păstrează individualitatea numai dacă mișcările de rotație și translație care se efectuează asupra lor, au loc în plan. Mișcările de rotație în afara planului aduc cu sine obligativitatea inversării pozițiilor tuturor substituenților, așa după cum se observă din fig. 14, care reprezintă diverse posibilități de scriere ale α-D-glucopiranozei și ale β-D-fructofuranozei

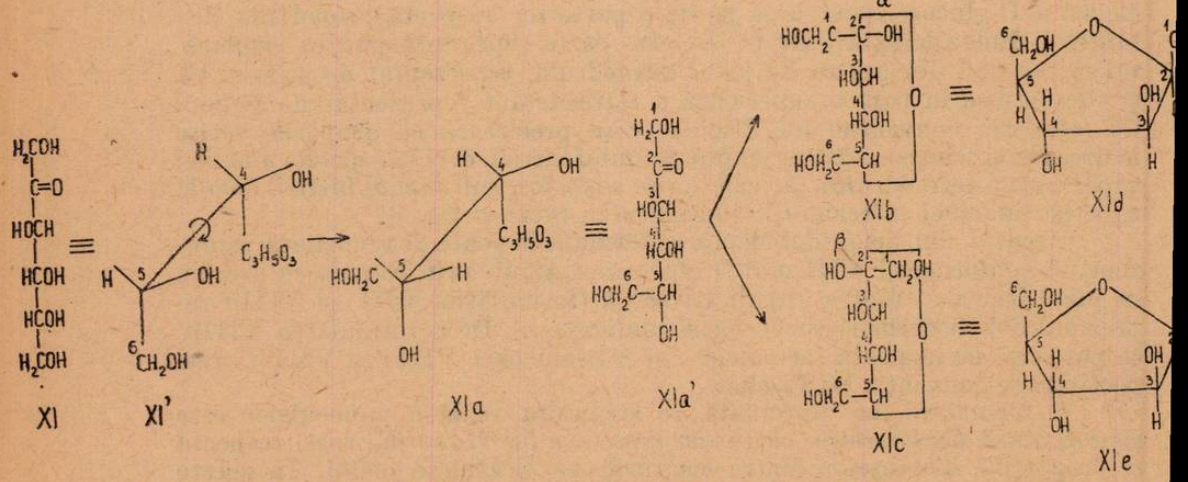


Fig. 14 Formule de proecție Haworth pentru α-D-glucopiraneză și β-D-fructopiranoză

Aplicînd aceleaşi principii şi în cazul unei diglucide cum ar fi de exemplu trehaloza (α-D-glucopiranozido α-D-glucopiranozida) se pot scrie formulări identice XII şi XII' din fig.15.

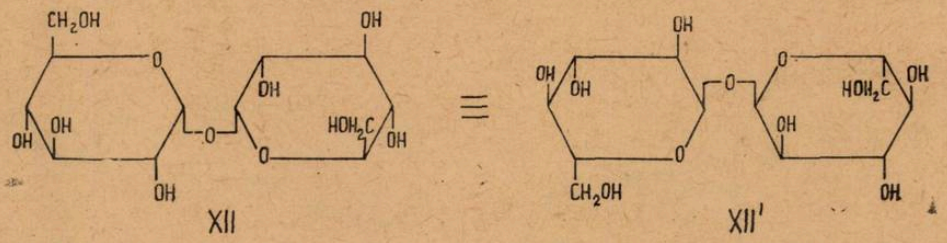


Fig. 15. Formule de proecţie Haworth pentru trehaloză.

7. Conformaţia ozelor cu structură ciclică

Formulele de proecţie Haworth pentru structura ciclică a ozelor oferă o imagine plană a inelului piranozic, ceea ce nu corespunde realităţii. Ciclul piranozic conţinînd şase atomi se poate prezenta întocmai ca şi ciclohexanul în conformaţia scaun (IV) şi conformaţia bae (V). S-a

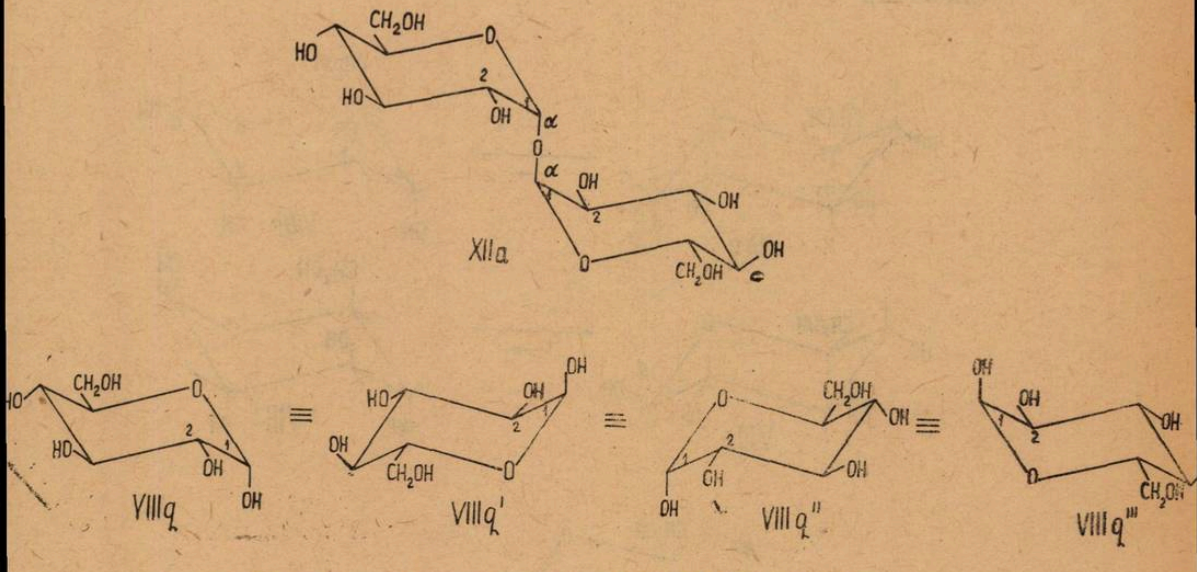


Fig. 16. Conformerii scaun ai configuraţiei α şi β-D-glucopiranozei.

dovedit şi în cazul structurii ciclice a ozelor faptul că conformaţia preferenţială mai stabilă, este conformaţia scaun în care un număr maxim de substituenţi ocupă poziţii ecuatoriale. În cazul α şi β-D-glucozei, spre exemplu, echilibrul între cele două forme scaun VIIIq şi VIIIr sau VIIIs şi VIIIt (vezi şi fig. 2 şi 3), este practic total deplasat spre conformerii VIIIq şi VIIIs care posedă patru, respectiv cinci grupări ecuatoriale.

Conformerul VIIIq poate fi scris şi sub oricare din formele VIIIq', VIIIq'' sau VIIIq''', toate echivalente, reprezentînd aceeaşi substanţă : glucopiranoza în configuraţia α-D şi conformaţia scaun cu patru grupări hidroxilice în poziţii ecuatoriale.

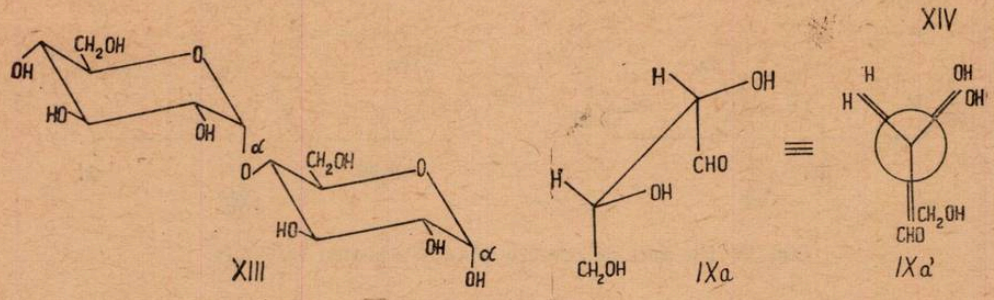


Fig. 17. Posibilităţi de reprezentare ale conformerului scaun al glucopiranozei (configuraţia α-D) cu patru grupări hidroxilice ecuatoriale.

În continuare sînt reprezentate prin formule conformaţionale cîteva din cele mai cunoscute şi mai importante diglucide : XIII, maltoza (α-D-glucopiranozido-4-D-glucopiranoza), XIIa, trehaloza (α-D-glucopiranozido-αD-glucopiranozida) şi XIV zaharoza (α-D-glucopiranozido-β-D-fructofuranozida).

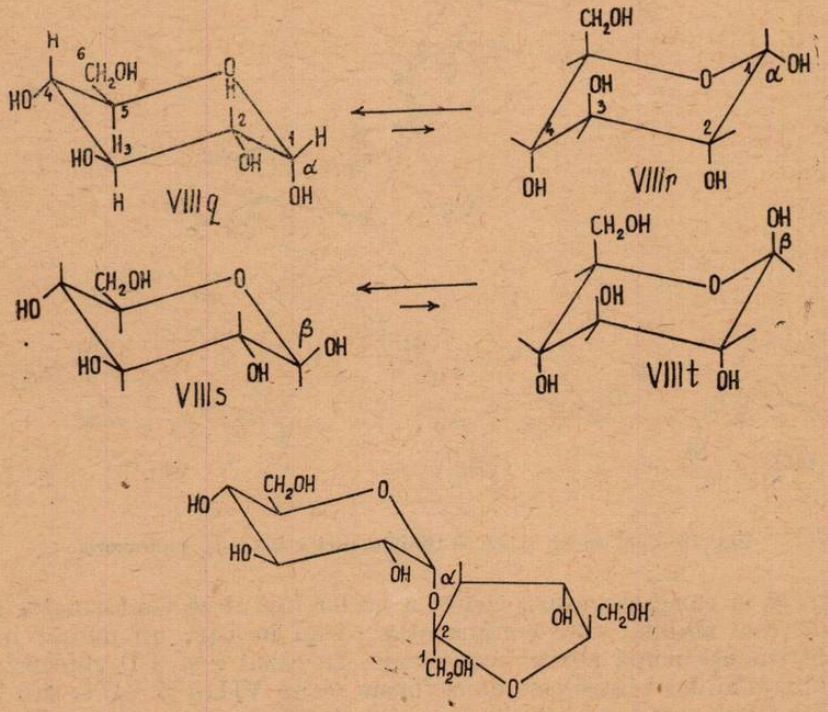


Fig. 18. Reprezentări conformaţionale ale maltozei, trehalozei şi zaharozei.

APARAT DIDACTIC PENTRU STUDIUL VIBRAȚIILOR DE RĂSUCIRE

Ing. *I. DEUTSCH, N. MORARIU,* ing. *M. GONCIAR,* Brașov

În acțiunea de înzestrare prin autodotare a laboratorului de vibrații al Catedrei de Mecanica și Rezistența materialelor s-a proiectat și s-a executat un aparat (fig. 1), care permite studiul vibrațiilor de răsucire cu trei grade de libertate, auxiliar prețios al studenților pentru asimilarea și consolidarea noțiunilor, fenomenelor și legilor din teoria vibrațiilor. Cu ajutorul aparatului se pot urmări stările care apar la diferite frecvențe în timpul oscilației de răsucire în cazul unui sistem cu trei grade de libertate. Astfel se pot stabili experimental frecvențele stărilor de rezonanță, oferindu-se posibilitatea verificării rezultatelor calculului teoretic.

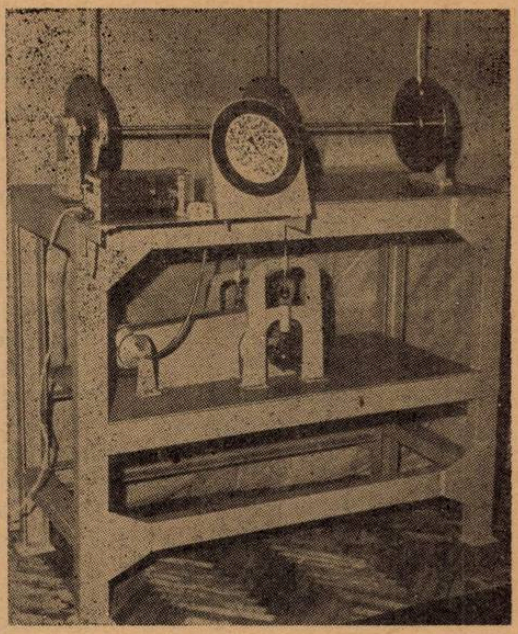


Fig. 1

Aparatul (fig. 2) constă din trei discuri (1), (2) și (3), prinse elastic între ele prin fixarea lor pe un arbore (4). Arborele este montat pe o masă (10) prin intermediul unor rulmenți, care-i dau posibilitatea de a se roti. Asupra discului (2) se poate aplica o forță oscilatorie armonică prin intermediul a două resoarte elicoidale (5) și (6), unul dintre ele fiind legat de masa aparatului, iar celălalt de excentricul

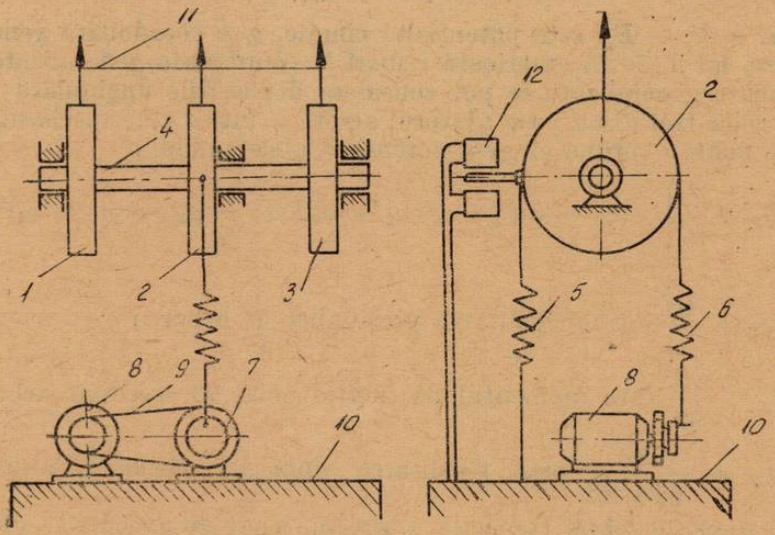


Fig. 2

(7), acţinat de un motor electric (8). Pentru micşorarea vitezei unghiulare, între motor şi excentric s-a interpus un reductor (9). Modificarea parametrilor forţei oscilante se obţine prin variaţia excentricităţii şi cu ajutorul unui reostat introdus în circuitul electric al motorului. Valoarea frecvenţei forţei aplicate se poate urmări pe un turometru. Pentru vizualizarea vibraţiilor (fig. 3) s-a prevăzut un fir longitudinal (11), fixat pe cele trei discuri prin intermediul unor ace indicatoare, care pun în evidenţă poziţia relativă a discurilor. Pentru măsurări mai exacte se pot folosi traductoare de vibraţii (12) aşezate în dreptul discurilor.

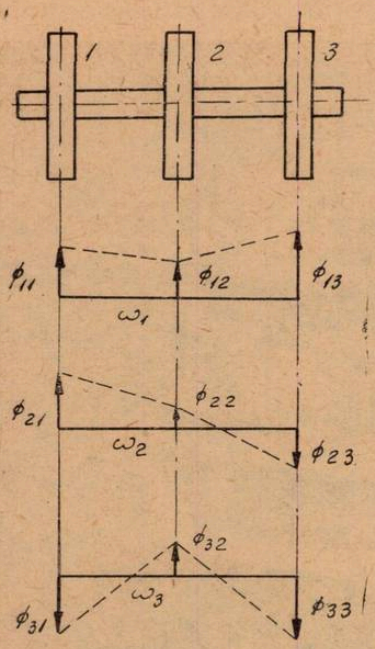


Fig. 3

În timpul funcţionării unui arbore cu discuri, vibraţiile de răsucire se suprapun peste mişcarea de rotaţie uniformă, ceea ce îngreunează studiul experimental al mişcării oscilatorii. Pentru a înlătura acest inconvenient aparatul permite studiul vibraţiilor de răsucire în cazul unui arbore nerotativ. Întrucît momentul de inerţie al discurilor (1), (2) şi (3) are valori mult superioare momentului de inerţie al arborelui (4), în studiul vibraţiilor de răsucire se poate neglija masa arborelui. În acest fel sistemul oscilatoriu poate fi considerat cu trei grade de libertate.

Ecuaţiile de mişcare ale discurilor se pot obţine cu ajutorul ecuaţiilor lui Lagrange în coordonate generalizate :

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{\partial L}{\partial q_i}\right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = F_i \qquad (1)$$

unde $L = E_c - E_p$, este potenţialul cinetic, q_i o coordonată generalizată oarecare, iar F_i forţa exterioară redusă la coordonata generalizată. Drept coordonate generalizate se pot considera deplasările unghiulare φ_1, φ_2 şi φ_3 ale celor trei discuri. Cu ajutorul acestora, într-o stare oscilatorie oarecare se poate exprima energia potenţială a sistemului :

$$E_p = \frac{1}{2}\left[c_1(\varphi_1 - \varphi_2)^2 + c_2(\varphi_3 - \varphi_2)^2 + \frac{c_5}{c_6}(c_5 + c_6)(r_2\,\varphi_2)^2\right],$$

unde :

$c_{1,2} = \dfrac{GI_p}{l}$ este rigiditatea porţiunilor de arbore :

$I_p = \dfrac{\pi d^4}{32}$ este momentul de inerţie polar al secţiunii arborelui,

$c_{5,6} = \dfrac{Gd^4}{64\,n\,R^3}$ este rigiditatea unui arc elicoidal, anume c_5 a arcului fixat de masă, respectiv c_6 a celui legat de excentric, iar r_2 raza discului (2).

Expresia energiei cinetice este :

$$E_c = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{3} I_i \dot{\varphi}_i^2, \tag{3}$$

unde I_i este momentul de inerţie al unui disc oarecare în raport cu axa de rotaţie.

Pentru un disc circular plin, de masă m_i şi rază r_i momentul de inerţie I_i se calculează cu relaţia :

$$I_i = \frac{1}{2} m_i r_i^2.$$

Asupra discului (2) acţionează momentul (adică forţa generalizată pentru ecuaţia lui Lagrange) :

$$F_2 = r_2 \, c_a \, e \, \sin \omega t, \tag{4}$$

$$\text{unde s-a notat cu } c_a = \frac{c_5 c_6}{c_5 + c_6}$$

o mărime dependentă de rigiditatea celor două arcuri, e excentricitatea, iar ω pulsaţia forţei perturbatoare.

Astfel ecuaţiile diferenţiale ale mişcării devin :

$$\begin{aligned} &I_1 \ddot{\varphi}_1 + c_1 (\varphi_1 - \varphi_2) = 0 ; \\ &I_2 \ddot{\varphi}_2 - c_1 \varphi_1 + c_3 \varphi_2 - c_2 \varphi_3 = r_2 \, c_a \, e \, \sin \omega t ; \\ &I_3 \ddot{\varphi}_3 + c_2 (\varphi_3 - \varphi_2) = 0, \end{aligned} \tag{5}$$

unde

$$c_3 = c_1 + c_2 + \frac{c_5}{c_6} (c_5 + c_6) r_2^2.$$

Soluţia acestui sistem de ecuaţii diferenţiale se compune dintr-o soluţie generală a sistemului omogen corespunzător oscilaţiilor proprii şi o soluţie particulară a sistemului neomogen, corespunzătoare oscilaţiilor forţate.

Întrucît oscilaţiile proprii se amortizează după un timp relativ scurt, ele nu vor influenţa în mod determinant oscilaţiile forţate. Ca urmare acestea din urmă se pot exprima sub forma :

$$\varphi_i = \Phi_i \, \sin \omega t, \quad (i = 1, 2, 3) \tag{6}$$

Această soluţie trebuie să verifice sistemul de ecuaţii diferenţiale (5). Rezultă astfel un sistem de trei ecuaţii cu cele trei amplitudini Φ_i necunoscute :

$$\begin{aligned} &(c_1 - I_1 \omega^2) \, \Phi_1 - c_1 \Phi_2 = 0 ; \\ &- c_1 \Phi_1 + (c_3 - I_2 \omega^2) \, \Phi_2 - c_2 \Phi_3 = r_2 \, c_a \, e ; \\ &- c_2 \Phi_2 + (c_2 - I_3 \omega^2) \, \Phi_3 = 0. \end{aligned} \tag{7}$$

Soluţiile sistemului de ecuaţii sînt de forma :

$$\Phi_i (\omega) = \frac{\Delta i \, (\omega)}{\Delta \, (\omega)}, \tag{8}$$

unde s-au notat cu Δ determinanţii coeficienţilor sistemului de ecuaţii.

Creşterea teoretic infinită a amplitudinii oscilaţiilor, deci rezonanţa, este condiţionată de anularea numitorului acestor expresii :

$$\Delta(\omega) = \begin{vmatrix} c_1 - I_1\omega^2 & -c_1 & 0 \\ -c_1 & c_3 - I_2\omega^2 & -c_2 \\ 0 & -c_2 & c_2 - I_3\omega^2 \end{vmatrix} = 0, \qquad (9)$$

ceea ce conduce la o ecuaţie de gradul şase :

$$a_0\omega^6 + a_1\omega^4 + a_2\omega^2 + a_3 = 0, \qquad (10)$$

unde s-a notat cu :

$$a_0 = I_1I_2I_3;$$
$$a_1 = -c_2I_1I_2 - c_3I_1I_3 - c_1I_2I_3;$$
$$a_2 = c_2(c_3 - c_2)\ I_1 + c_1c_2I_2 + c_1(c_3 - c_1)\ I_3;$$
$$a_3 = -c_1c_2(c_3 - c_1 - c_2).$$

Cele trei perechi de soluţii ale acestui sistem de ecuaţii corespund pulsaţiilor proprii ale sistemului oscilant. Ele se referă la cele trei feluri posibile de stări de rezonanţă (fig. 3), dependente de sensul relativ de oscilaţie al discurilor, ceea ce rezultă din cercetarea raporturilor :

$$\frac{\Phi_1(\omega_i)}{\Phi_2(\omega_i)} = \frac{\Delta_1(\omega_i)}{\Delta_2(\omega_i)}; \quad \frac{\Phi_3(\omega_i)}{\Phi_2(\omega_i)} = \frac{\Delta_3(\omega_i)}{\Delta_2(\omega_i)}, \quad i = 1, 2, 3.$$

Astfel pentru pulsaţia ω_1 cele trei discuri se rotesc deodată, împreună în acelaşi sens. Pulsaţia ω_2 corespunde stării de oscilare cu un nod, cînd un disc marginal se roteşte în sens contrar celorlalte două. La pulsaţia ω_3 se produce o stare de rezonanţă cu două noduri, cînd cele două discuri marginale oscilează în sens contrar celui din mijloc.

În cazul aparatului realizat discurile au acelaşi diametru $D = 240$ mm şi greutate $Q = 6{,}3$ kgf, fiind dispuse la distanţe succesive de $l = 445$ mm, iar arborele este de oţel cu modulul de elasticitate transversal $G = 0{,}8 \cdot 10^6$ kgf/cm^2 şi cu diametrul $d = 10$ mm. Arcurile elicoidale au rigidităţile egale cu $c_5 = c_6 \approx 17$ kgf/cm. Reductorul reduce turaţia excentricului pe jumătate. Turaţia maximă a motorului electric este de $n = 3000$ rot/min. În acest caz pulsaţiile proprii ale sistemului oscilant cu trei grade de libertate au următoarele valori :

$$\omega_1 = 45{,}5 \text{ rad/sec}; \quad \omega_2 = 63 \text{ rad/sec}; \quad \omega_3 = 141 \text{ rad/sec}.$$

Acestora le corespund următoarele turaţii ale motorului electric :

$$n_1 \cong 770 \text{ rot/min}; \quad n_2 \cong 1200 \text{ rot/min}; \quad n_3 \cong 2700 \text{ rot/min}.$$

Pentru aceste turaţii aparatul permite să se pună în evidenţă cele trei stări de rezonanţă descrise mai sus. Există o bună corespondenţă între pulsaţiile proprii determinate prin calcul şi cele măsurate experimental.

BIBLIOGRAFIE

[1] *Buharinov G. N.* ş.a. : Laboratornîi praktikum po teorii kolebanii. Izdatelstvo Leningradskovo Universiteta, 1965.

[2] *Buzdugan Gh.* : Măsurarea vibraţiilor mecanice, Editura Tehnică, Bucureşti, 1964.

CONSIDERAȚII ASUPRA PREDĂRII FIZICII SEMICONDUCTORILOR ÎN LICEELE DE CULTURĂ GENERALĂ ȘI DE SPECIALITATE

Profesor *STEGARU MARIN*, Slatina

Fizica semiconductorilor a luat o mare dezvoltare în ultimii ani, datorită multiplelor aplicații ale dispozitivelor cu semiconductori în tehnică. Din acest motiv considerăm util ca acestui capitol al fizicii să i se acorde o mai mare atenție în programa liceelor. Propunem ca predarea semiconductorilor să se facă avînd în vedere următoarele probleme :

I. — Studiul proprietăților generale ale semiconductorilor.

II. — Studiul dispozitivelor cu semiconductori.

În această lucrare ne propunem să expunem prima parte a problemelor de semiconductori care credem că ar fi necesară să fie predată elevilor. Lucrarea se referă la studiul proprietăților generale ale semiconductorilor.

Studiul proprietăților generale ale semiconductorilor cuprinde următoarele probleme și două lucrări de laborator, cărora li se pot afecta 6 ore :

1. — Structura corpului solid. — Deosebirea între semiconductori, izolatori și metale.

2. — Semiconductori intrinseci și extrinseci.
Lucrare de laborator :
Determinarea semnului purtătorilor de sarcină într-un semiconductor prin metoda termosondei.

3. — Conductibilitatea electrică a semiconductorilor.

4. — Influența cîmpului magnetic asupra purtătorilor de sarcină în semiconductori.
Lucrare de laborator : Efectul Hall.

5. — Purtători de sarcină de neechilibru în semiconductori. Fotoconductibilitatea.

1. — Structura corpului solid. — Deosebirea între semiconductori, izolatori și metale.

Pentru realizarea stării solide în natură sînt necesare anumite condiții de temperatură și presiune. În aceste condiții structura internă a corpului corespunde stării de echilibru termodinamic. Corpurile solide au compresibilitate redusă și starea la o presiune și temperatură dată este practic aceeași cu starea de echilibru la volum și temperatură dată.

Starea cristalină este o stare de echilibru stabil, iar starea amorfă este o stare de echilibru nestabil.

Caracteristica externă cea mai cunoscută a corpurilor cristaline o constituie forma lor regulată. Ea corespunde unei așezări ordonate a particulelor constituente ale cristalului. Aceste particule pot fi atomi sau ioni, moleculele sau grupuri de molecule. Într-un cristal ele sînt dispuse cu regularitate în nodurile unei rețele numită rețeaua cristalină.

Proprietățile corpului solid sînt determinate de natura atomilor care formează rețeaua și de tipul legăturii chimice dintre ei. În unele corpuri, ca de exemplu sarea de bucătărie (NaCl), legătura chimică este ionică : nodurile rețelei sînt ocupate, succesiv, de ioni Na^+ și Cl^-.

În corpurile constituite din acelaşi tip de atomi, ca de exemplu germaniu, siliciu, legătura chimică dintre atomi este covalentă (ca la molecula de hidrogen), pe cînd la alte corpuri legătura chimică se realizează prin colectivizarea electronilor de valenţă, care aparţin simultan tuturor atomilor cristalului, ca de exemplu Na, Ag, etc., (electron de valenţă fiind electronul de pe ultima stare sau de pe ultimul nivel ocupat al atomului liber).

Există corpuri cum ar fi arseniura de galiu (GaAs), sulfura de plumb (PbS), în care există o legătură chimică mixtă atît ionică cît şi covalentă, predominînd una sau alta.

Corpurile se împart în izolatori, semiconductori şi metale după mărimea energiei necesare pentru a rupe electronii din legăturile chimice ale atomilor reţelei. Aceşti electroni eliberaţi din legăturile atomice se numesc electroni liberi şi ei se pot deplasa în reţea sub acţiunea unui cîmp electric.

La izolatori energia necesară pentru a rupe electronii din legăturile de valenţă este mare. La clorura de sodiu de exemplu, această energie atinge pînă la 10 eV. La semiconductori această energie de ieşire este mai mică decît la izolatori şi este cuprinsă între 0,2—2 eV, iar la metale nu este necesar să cheltuim o energie pentru a crea electroni liberi, deoarece în metale electronii de valenţă sînt colectivizaţi, ei nu sînt legaţi de anumiţi atomi, ci sînt deja liberi. Pentru studiul corpului solid se introduce noţiunea de bandă de energie.

Să considerăm N atomi de acelaşi fel care se asociază pentru a forma un corp unic. Cînd cei N atomi se află la distanţă mare astfel încît nu interacţionează între ei, va exista acelaşi nivel de valenţă (ultimul nivel ocupat) pentru toţi atomii şi aceleaşi nivele excitate.

Cînd atomii se unesc între ei şi formează corpul solid, nivelul de valenţă se va despica în N nivele pentru ca să se poată aşeza toţi cei N electroni de valenţă. Apare astfel în corpul solid o bandă energetică de nivele foarte apropiate între ele, toate ocupate cu electroni la temperatura de 0°K şi această bandă se numeşte bandă de valenţă. Deci, în locul nivelului de valenţă al atomului liber, în corpul solid apare o bandă de valenţă.

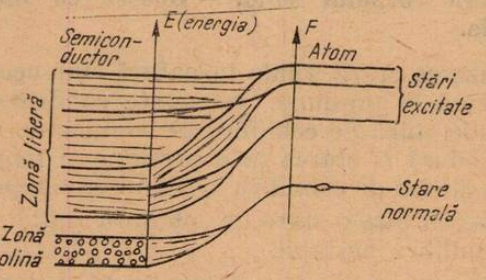


Fig. 1. Stări energetice ale electronilor. La dreapta: într-un atom izolat. La stînga: într-un semiconductor sau izolator.

Primul nivel excitat al atomului liber se despică de asemenea în N nivele şi formează o bandă energetică liberă numită bandă de conducţie care nu este ocupată cu electroni, la temperatura de 0°K.

Distanţa dintre minimul benzii de conducţie şi maximul zonei de valenţă se numeşte zonă interzisă.

Se observă că pentru a rupe un electron din legăturile atomice, adică pentru a trece electronul din banda de valență în banda de conducție trebuie să cheltuim o energie egală cu lărgimea zonei interzise.

Semiconductorii și izolatorii conduc curentul electric atunci cînd se găsesc electroni în banda de conducție, adică electroni liberi. Lărgimea zonei interzise este mai mare la izolatori decît la semiconductori.

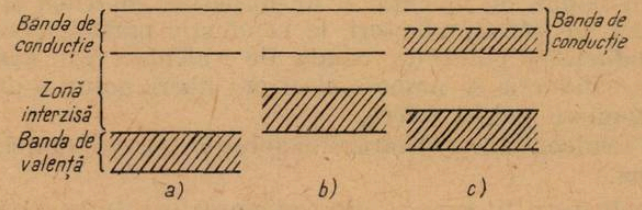


Fig. 2. Schema de benzi a izolatorului (a), a semiconductorului (b), și a conductorului (c).

Suprafețele haşurate reprezintă benzile cu electroni. La metale, spre deosebire de izolatori și semiconductori, banda de conducție este pe jumătate ocupată cu electroni (fig. 2c) și nu mai este necesaă o energie suplimentară pentru a trece electronii în banda de conducție, pentru că ei se găsesc deja în această bandă.

2. Semiconductori intrinseci și extrinseci.

a. Prin trecerea unui electron din banda de valență în banda de conducție rămîne un loc liber în banda de valență, o legătură atomică nesatisfăcută și acest loc liber se numește gol. Dacă semiconductorul se află într-un cîmp electric, atît electronii cît și golurile se vor mișca sub acțiunea cîmpului electric. Golurile se deplasează în sens invers electronilor.

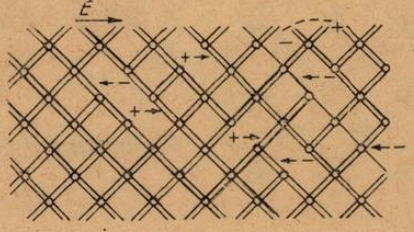


Fig. 3.
Apariția și deplasarea în cîmp electric a electronilor liberi (—) și a golurilor (+).

Pentru a înțelege cum stau lucrurile să considerăm rețeaua cristalină a semiconductorului germaniu (fig. 3).

Presupunem că un electron se rupe din legătura de valență. Acest electron se va deplasa liber în rețea sub acțiunea cîmpului electric. Locul rămas liber este ceea ce am numit mai sus, gol.

Sub influența cîmpului electric un electron dintr-o stare legată va veni și va ocupa golul, legătura de valență rămasă liberă, iar în locul de unde a plecat va rămîne un alt gol. Acest gol va fi ocupat la

rîndul lui de un electron dintr-o altă legătură de valenţă ş.a.m.d. În acest fel electronii legaţi, cei din banda de valenţă, se mişcă pe legăturile de valenţă rămase libere, adică pe goluri. Ca şi electronii liberi, electronii legaţi se mişcă în sens invers cîmpului electric. Dar această deplasare a electronilor legaţi, în sens invers cîmpului electric poate fi înlocuită cu deplasarea golurilor în sensul cîmpului electric. Aşa dar, golurile se mişcă la fel ca sarcinile pozitive. Nu vom vorbi deci de mişcarea electronilor legaţi, cei din banda de valenţă, ci de mişcarea golurilor din banda de valenţă. Astfel în semiconductori, la conducţie participă electroni din banda de conducţie şi goluri din banda de valenţă. Aşa cum electronii din banda de conducţie se numesc electroni liberi, golurile din banda de valenţă, se numesc goluri libere.

Într-un semiconductor electronii şi golurile poartă numele de purtători de sarcină.

Semiconductorii în care se creează purtători de sarcină liberi prin trecerea electronilor din banda de valenţă în banda de conducţie se numesc semiconductori intrinseci. În semiconductorul intrinsec există atît curent de electroni cît şi curent de goluri.

b. Dacă într-un semiconductor există întîmplător sau voit şi atomi străini de atomii care formează reţeaua cristalină a semiconductorului, aceştia se numesc atomi de impurităţi. Să considerăm de exemplu că locul unui atom de germaniu din reţeaua din figura 3 este ocupat de un atom din grupa a V-a a tabelului lui Mendeleev, fie acesta arseniu (fig. 4 a).

Arseniul are pe ultimul nivel 5 electroni şi pentru a satisface legăturile de valenţă sînt necesari numai 4 electroni, astfel că un electron aparţinînd atomului de As rămîne foarte slab legat de acesta (fig. 4 a), energia lui de legătură (0,012 eV) este mult mai mică decît lărgimea zonei interzise a semiconductorului (0,7 eV pentru Ge) şi nivelul energetic (E_d) pe care se află acest electron este situat foarte aproape de banda de conducţie, în zona interzisă (fig. 4 b). Din aceste motive electronii proveniţi de la atomii de arseniu vor trece mai uşor în banda de conducţie.

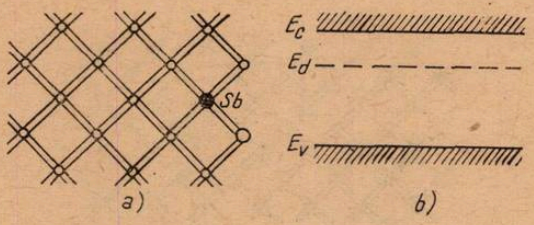


Fig. 4. Semiconductor cu impurităţi donoare (a). Nivelul energetic donor (b).

Dacă concentraţia atomilor de As este mult mai mare decît concentraţia electronilor din banda de conducţie proveniţi din banda de valenţă, atunci, practic, electronii din banda de conducţie vor fi proveniţi în cea mai mare parte de la atomii de As. Dar trecerea electronilor de pe nivelul E_d în banda de conducţie nu creează goluri în banda de valenţă şi într-un asemenea semiconductor purtătorii de sarcină cei mai mulţi (majoritari) sînt electronii. Atomii de arseniu se numesc atomi donori sau impurităţi donoare şi semiconductorul se numeşte semiconductor de tip n.

Dacă înlocuim un atom de germaniu cu un atom de galiu, din grupa a III-a a tabelului lui Mendeleev, atunci lucrurile se schimbă (fig. 5 a). Galiul are pe ultima orbită 3 electroni astfel încît în reţeaua germaniului va rămîne o legătură nesatisfăcută.

Această legătură nesatisfăcută a atomului de Ga corespunde unui nivel energetic E_a, situat lîngă banda de valenţă (fig. 5 b). Pentru ca

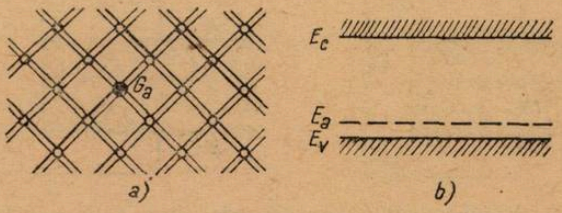


Fig. 5. Semiconductori cu impurităţi acceptoare (a). Nivelul energetic acceptor (b).

un electron din banda de valenţă, de la atomii Ge, să treacă pe nivelul E_a, pe atomul de Ga, este necesară o energie mult mai mică decît ca electronul să treacă din banda de valenţă în banda de conducţie, astfel că electronii din banda de valenţă vor trece mai degrabă pe nivelul E_a, decît în banda de conducţie. Dacă concentraţia atomilor de Ga este mult mai mare decît concentraţia electronilor care au trecut din banda de valenţă în banda de conducţie, atunci cei mai mulţi electroni proveniţi din banda de valenţă se vor afla pe nivelul E_a, pe atomii de galiu.

Trecerea atomilor din banda de valenţă pe nivelul E_a, dă naştere la apariţia golurilor în banda de valenţă. În această situaţie concentraţia golurilor din banda de valenţă va fi mult mai mare decît concentraţia electronilor din banda de conducţie. Electronii de pe nivelul E_a nu participă la conducţie ci sînt legaţi. Atomii care acceptă electronii, cum sînt atomii de galiu în germaniu, se numesc acceptori sau impurităţi acceptoare, iar semiconductorul cu acceptori se numeşte semiconductori de tip p, adică purtătorii de sarcină majoritari sînt golurile, purtători de sarcină pozitivă.

Semiconductori cu donori sau acceptori se numesc semiconductori extrinseci. La temperatura de 0°K, banda de conducţie este complet goală, iar banda de valenţă este complet plină cu electroni. La o temperatură diferită de 0°K, energia termică a reţelei este capabilă statistic pentru a crea purtători de sarcină liberi. Cu creşterea temperaturii creşte şi energia termică a reţelei, prin urmare creşte şi concentraţia purtătorilor de sarcină liberi.

Lucrare de laborator nr. 1.

Determinarea semnului purtătorilor de sarcină într-un semiconductor prin metoda termosondei.

Fie un semiconductor (fig. 6 şi 7) pe care îl încălzim pe faţa A. Datorită căldurii primite energia cinetică a purtătorilor de sarcină va fi mai mare în regiunea A, decît în regiunea B, neîncălzită. Acest lucru face ca purtătorii de sarcină din regiunea A, unde au viteză mai mare, să difuzeze spre regiunea B. Dacă purtătorii de sarcină sînt electronii, adică

semiconductorul este de tin n, atunci, datorită difuziei, în partea B vor exista mai mulți electroni decît în partea A, astfel încît partea B, se va încărca negativ, iar partea A, se va încărca pozitiv. Apare astfel între partea A și B o diferență de potențial. Dacă unim printr-un conductor partea A și B și punem în circuit un galvanometru observăm că prin el trece un curent în sensul arătat pe figură, adică de la A la B.

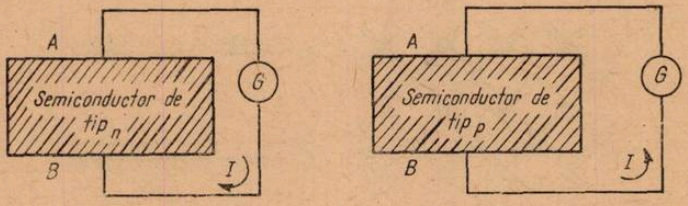


Fig. 6. Sensul curentului termoelectric într-un semiconductor de tip n, cînd fața A este încălzită.

Fig. 7. Sensul curentului într-un semiconductor de tip p, cînd fața A este încălzită.

Dacă purtătorii de sarcină sînt golurile (fig. 7) semiconductorul fiind de tip p, datorită difuziei găurilor dinspre partea caldă A, spre partea rece B, în partea rece se vor aduna mai multe goluri, iar partea caldă va fi sărăcită în goluri. Cum golurile au sarcina pozitivă, partea B se va încărca negativ, deci invers decît în cazul semiconductorului de tip n. În acest caz acul galvanometrului va devia în sens invers.

Pe aceste considerații simple se bazează metoda de determinare a semnului purtătorilor de sarcină într-un semiconductor, așa numita *metodă a termosondei*. Iată în ce constă dispozitivul experimental.

Pe o placă metalică este fixat un jug în formă de U dintr-un material izolant, de exemplu plexiglas, așa cum se vede în figura 8. Printr-un orificiu al plăcii de sus a jugului se introduce o bară de cupru care poate

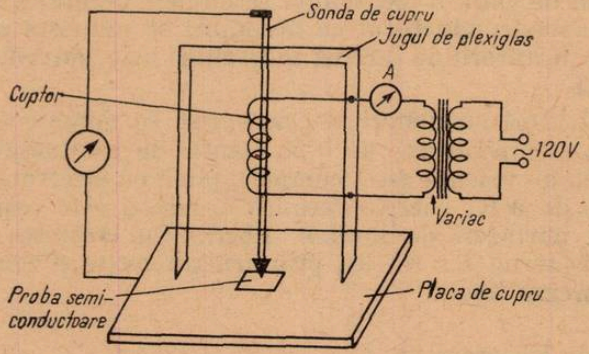


Fig. 8. Dispozitivul experimental pentru determinarea semnului purtătorilor de sarcină într-un semiconductor prin metoda termosondei.

culisa. În jurul barei de cupru se așează un cuptor, de exemplu de nichelină, izolat de aceasta prin mică. Cuptorul se alimentează de la rețeaua de curent alternativ prin intermediul unui variac. În circuitul de alimentare a cuptorului se introduce și un ampermetru pentru a observa ca

curentul care trece prin cuptor să nu depășească valoarea limită la care acesta trebuie încălzit. Pe partea superioară și pe o parte laterală a plăcii de cupru se fixează cîte o bornă. Între aceste două borne se stabilește un circuit cu un galvanometru.

Modul de lucru a. Se ridică bara de cupru și sub ea se așează pe placa de cupru proba semiconductoare. Apoi se lasă bara de cupru să apese pe probă. Bara de cupru are vîrful ascuțit ca să facă un contact cît mai intim cu proba. Pentru ca bara de cupru, care poartă numele de sondă, să apese cît mai bine pe probă, ea este acționată de un resort așa cum se vede în figură.

b. Se alimentează cuptorul și se așteaptă cîteva minute pînă cînd se încălzește. Datorită încălzirii cuptorului se încălzește și bara de cupru și deci se încălzește și regiunea probei care vine în contact cu cuptorul, în timp ce regiunea probei care vine în contact cu placa de cupru rămîne rece. Va apare astfel un curent de difuzie al purtătorilor de sarcină de la cald la rece și galvanometrul G indică trecerea unui curent.

c. Se observă sensul deviației galvanometrului pentru această probă.

d. Se înlocuiește această probă care să zicem că este de tip n, cu alta de tip p și se va observa că acul galvanometrului deviază în sens invers. Deoarece sonda de cupru este încălzită, această metodă poartă numele de metoda termodsondei.

3. Conductibilitatea electrică a semiconductorilor.

În semiconductorii extrinseci conductivitatea electrică este datorată unui singur tip de purtători, electroni în semiconductorii de tip n și goluri în semiconductorii de tip p, adică purtătorilor majoritari. În semiconductorii intrinseci conductibilitatea se datorează atît electronilor cît și golurilor, adică există o conductibilitate mixtă. Și în semiconductorii extrisnseci participă la conducție ambele tipuri de purtători, însă concentrația purtătorilor majoritari fiind mult mai mare decît a purtătorilor minoritari, contribuția acestora din urmă este neglijabilă.

Pentru a deduce expresia conductibilității electrice să considerăm un cilindru de lungime l și secțiune $S = 1$ cm^2. Presupunem că în acest cilindru există o sarcină electrică Q dată de electroni. Dacă notăm cu n concentrația electronilor și e sarcina electronului, atunci Q este egal cu produsul $n\ e\ V$, adică $Q = n\ e\ V$, unde $V = l \cdot 1$ cm.p. este volumul cilindrului. Cînd această sarcină se deplasează într-un cîmp electric E, prin cilindru trece un curent electric. Curentul electric se definește ca o cantitate de sarcină care trece printr-o secțiune în unitatea de timp. Curentul electric care trece prin unitatea de suprafață poartă numele de densitate de curent J, astfel că :

$$J = \frac{Q}{t} = -n\ e\ \frac{l}{t}\ (\text{A})\ \text{cm}^2$$

unde cu t am notat timpul necesar cantității de sarcină Q să treacă prin secțiunea cilindrului. Lungimea cilindrului, l, este drumul parcurs de electroni în timpul t, așa că dacă notăm cu v viteza de deplasare a electronilor vom scrie : $J = -n\ e\ v$.

Raportul dintre viteza electronilor şi cîmpul electric E, poartă numele de mobilitatea electronilor : $\mu_n = \frac{-V}{E}$, deci densitatea de curent de electroni este $J_n = n\, e\, \mu_n E$.

Pe de altă parte, din legea lui Ohm, densitatea de curent este dată de expresia :

$$J_n = \sigma_n E.$$

unde σ_n este conductibilitatea electrică a electronilor. Comparînd ultimile două relaţii rezultă că :

$$\sigma_n = n\, e\, \mu_n$$

În mod analog se obţine expresia conductibilităţii electrice a golurilor :

$$\sigma_p = n\, e\, \mu_p$$

unde p este concentraţia golurilor şi μ_p mobilitatea golurilor, iar curentul de goluri se scrie :

$$J_p = \sigma_p E = p\, e\, \mu_p E$$

Într-un semiconductor curentul total J este dat de suma dintre curentul de electroni şi curentul de goluri :

$$J = J_n + J_p = \sigma_n E + \sigma_p E = (n\, e\, \mu_n + p\, e\, \mu_p)\, \mathrm{E}$$

iar conductibilitatea electrică totală este dată de suma conductibilităţii electrice ale celor două tipuri de purtători, adică :

$$\sigma = \sigma_n + \sigma_p = n\, e\, \mu_n + p\, e\, \mu_p$$

Mobilitatea electronilor este în general mai mare decît a golurilor. Se observă că în semiconductorul de tip n, unde concentraţia electronilor, n, este mult mai mare decît concentraţia golurilor p, rezultă $\sigma \simeq \sigma_n$ şi $J \simeq J_n$ adică avem conducţia prin electroni, în timp ce în semiconductorul de tip p, unde p este mult mai mare decît n, rezultă $\sigma \simeq \sigma_p$ şi $J \simeq J_p$, adică avem conducţie prin goluri.

Pentru a măsura conductibilitatea electrică σ a unui semiconductor trebuie să măsurăm rezistenţa acestuia, R. Cunoscînd lungimea l şi secţiunea S a semiconductorului şi măsurînd R, găsim :

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{R}\frac{l}{S}$$

Măsurarea rezistenţei semiconductorului se face prin metoda compensaţiei (Pogggendorf) pentru a se înlătura căderea de tensiune care apare la contactul dintre metal (firele de legătură) şi semiconductori şi care ar da rezultate eronate.

4. Influenţa cîmpului magnetic asupra purtătorilor de sarcină în semiconductori.

S-a observat experimental că într-un semiconductor prin care trece un curent electric şi care se află într-un cîmp magnetic perpendicular pe direcţia a curentului electric, apare pe o direcţie perpendiculară pe direcţia cîmpului magnetic şi a curentului electric o diferenţă de

potențial electric, numită tensiune Hall. Acest efect a fost descoperit în anul 1889 și poartă numele de efectul Hall. Pentru a deduce tensiunea Hall vom presupune că prin semiconductor trece curent electric pe direcția axei OX, și că el se află într-un cîmp magnetic B, orientat în direcția axei OZ. Presupunem că avem un semiconductor de tip n, adică purtătorii de sarcină majoritari sînt electronii (fig. 9 a și b).

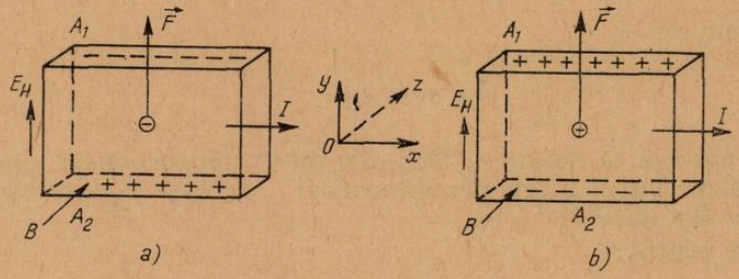


Fig. 9. Sensul cîmpului Hall într-un semiconductor de tip n (a) și într-un semiconductor de tip p (b).

Cîmpul magnetic acționează asupra electronului cu o forță numită forța Lorentz dată de expresia :

$$F_L = - e v B$$

unde e este sarcina electronului și v viteza lui. Forța Lorentz este perpendiculară pe direcția vitezei electronului, adică pe direcția cîmpului electric și pe direcția cîmpului magnetic B, astfel încît electronii sub influența acestei forțe vor fi deviați în direcția axei O Y, spre fața A_1 a semiconductorului. Ca rezultat pe fața A_1 se vor aglomera electronii, iar pe fața A_2 vor fi mai puțini. Dar trecerea electronilor pe fața A_1 face ca să crească sarcina negativă pe această față, care respinge electronii ce vin în această direcție. Spunem că apare un cîmp electric pe direcția O Y. La echilibru acest cîmp electric E_H acționează asupra electronului cu o forță egală și de semn contrar cu forța Lorentz.

Cîmpul electric E_H este cîmpul Hall și forța cu care acesta acționează asupra electronului este dată de relația :

$$F_e = - eE_H$$

După cum am spus la echilibru : $F_e = - eE_H$, adică $e E_H = e v B$ (1) iar din paragraful precedent am văzut că densitatea de curent J se scrie :

$$J = - n e v$$

unde n este concentrația electronilor. Curentul total I care trece prin probă este $I = J S$, unde S este secțiunea probei și $S = a b$, unde a este dimensiunea probei după direcția Y și b este dimensiunea probei după direcția Z.

Înmulțind ambii membrii ai egalității (1) cu n și ținînd cont că $- n e v = \frac{I}{ab}$, obținem pentru cîmpul Hall expresia :

$$E_H = \frac{-1}{ne} I \cdot B \cdot \frac{1}{ab}$$

Dar : $E_H \cdot a = V_H$, este tensiunea Hall şi rezultă :

$$V_H = \frac{-1}{ne} \cdot I \cdot B \cdot \frac{1}{b}$$

Mărimea $\frac{-1}{ne}$ se notează cu R şi poartă numele de constanta Hall.

Deci putem scrie :

$$V_H = R \cdot I \cdot B \cdot \frac{1}{b}$$

Se observă că tensiunea Hall este direct proporţională cu curentul electric şi cu cîmpul magnetic. Măsurînd V_H, I, B şi b putem determina constanta R a lui Hall.

Din relaţia :

$$R = -\frac{1}{ne}$$

cunoscînd sarcina electronului e, se determină concentraţia electronilor în semiconductori. Într-un semiconductor de tip p (fig. 9 b) în care purtătorii de sarcină sînt golurile, pentru acelaşi sens al curentului electric I şi acelaşi sens al cîmpului magentic B, ca şi în cazul din figura 8 a, golurile vor fi deviate în sus şi faţa A_1 se va încărca pozitiv, deoarece avem exces de goluri, iar faţa A_2 se va încărca negativ deoarece avem lipsă de goluri. Astfel cîmpul Hall, E_H, va fi îndreptat în sens contrar faţă de cazul din fig. 9 a. Trebuie reţinut că într-un semiconductor de tip p, golurile se mişcă în sensul curentului electric, sensul convenţional de mişcare a sarcinilor pozitive, deoarece golurile sînt sarcini pozitive şi deci viteza lor v este îndreptată în acelaşi sens cu sensul curentului I, astfel că în condiţiile date, forţa Lorentz este îndreptată în sus şi deplasează golurile spre faţa A_1.

Într-un semiconductor de tip n, electronii fiind sarcini negative se mişcă în sens invers curentului electric, acesta avînd sensul convenţional de mişcare a sarcinii pozitive şi deci viteza electronilor v, este îndreptată în sens invers sensului curentului I. Deoarece sarcina electronului este negativă, forţa Lorentz F, va fi îndreptată tot în sus şi deci în semiconductorul de tip n (fig. 9 a) electronii se vor acumula pe faţa A_1, care se va încărca negativ, în timp ce faţa A_2 fiind sărăcită de electroni se va încărca pozitiv.

Dacă purtătorii de sarcină sînt electronii, $e < 0$, constanta Hall este negativă, iar dacă purtătorii de sarcină sînt golurile, $e > 0$, constanta Hall este pozitivă.

După semnul lui R şi deci al tensiunii Hall, V_H, putem determina semnul purtătorilor de sarcină în semiconductori. Se observă din relaţiile de mai sus că tensiunea Hall este cu atît mai mare cu cît concentraţia purtătorilor de sarcină este mai mică. De asemenea, prin schimbarea sensului curentului sau al cîmpului magnetic, se schimbă şi semnul tensiunii Hall. Acesta se determină prin regula lui Laplace, a mîinii stîngi.

Lucrare de laborator nr. 2. Efectul Hall.

Pentru determinarea experimentală a tensiunii Hall se foloseşte montajul din fig. 10.

Montajul constă din două părţi :

a) Circuitul de alimentare pentru stabilirea curentului I, ce trece prin probă.

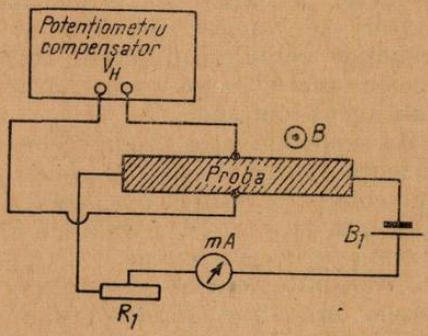


Fig. 10. Montajul experimental pentru determinarea tensiunii Hall.

b) Circuitul compensator pentru măsurarea diferenţei de potenţial Hall.

Bateria B_1 furnizează un curent care se reglează cu ajutorul reostatului R_1 şi se măsoară cu ajutorul unui miliampermetru (se lucrează cu curenţi mici de ordinul miliamperilor sau zecimilor de miliamperi). Proba este introdusă într-un cîmp magnetic B, între polii unui magnet. Tensiunea Hall se măsoară cu ajutorul unui potenţiometru compensator, care lucrează pe metoda de compensaţie Poggendorf.

Dacă b este dimensiunea probei în direcţia cîmpului magnetic, I este curentul ce trece prin probă, B cîmpul magnetic şi U tensiunea Hall, constanta Hall, R, se găseşte din relaţia :

$$R\,\frac{(\text{cm}^3)}{(\text{Coulomb})} = \frac{U}{-I}\,\frac{(\text{volţi})\cdot b\,(\text{cm})}{(\text{amperi})\cdot B\,(\text{gauşi})}\cdot 10^{-8}$$

Determinînd R şi cunoscînd $e = 1{,}6\cdot 10^{-19}$ Coulombi, se determină valoarea concentraţiei purtătorilor de sarcină :

$$n\ (\text{cm}^{-3}) = \frac{1}{Re}$$

adică număr de purtători pe cm^3.

Se inversează sensul cîmpului magnetic şi se observă că tensiunea Hall îşi schimbă semnul. De asemenea tensiunea Hall îşi schimbă semnul şi dacă schimbăm sensul curentului electric care trece prin probă.

Pentru acelaşi sens al cîmpului magnetic şi acelaşi sens al curentului electric, tensiunea Hall are semn contrar într-un semiconductor de tip p faţă de un semiconductor de tip n. Astfel, într-un semiconductor de tip p, R este pozitiv, iar într-un semiconductor de tip n, R este negativ. În acest fel putem spune dacă un semiconductor este de tip n sau p.

Acest lucru se observă direct pe fig 9 a şi 9 b unde pentru acelaşi sens al cîmpului magnetic B şi acelaşi sens al curentului electric I, cîmpul Hall în semiconductori de tip n (fig. 9 a) este îndreptat în sus, iar într-un semiconductor de tip p (fig. 9 b) cîmpul electric este îndreptat în jos.

5. Purtători de neechilibru în semiconductori. Fotoconductibilitatea

Într-un semiconductor pot apare purtători liberi datorită ionizării termice. Aceşti purtători se numesc purtători de echilibru, deoarece concentraţia lor corespunde echilibrului termic între electroni şi reţea.

Însă, într-un semiconductor se pot creea purtători liberi şi prin excitare cu lumină sau alt agent ionizator.

Dacă iluminăm un semiconductor cu un fascicul de lumină ai cărui fotoni au energie suficientă pentru a scoate electronii din banda de valenţă şi a-i trece în banda de conducţie, atunci pot apare purtători liberi, adică atît electroni cît şi goluri, în plus faţă de purtătorii liberi existenţi în condiţiile de echilibru termic şi aceşti purtători se numesc purtători exces. Energia fotonilor se transmite numai electronilor, astfel că energia medie termică a reţelei cristaline rămîne practic neschimbată. Se schimbă deci echilibrul dintre electroni şi reţea şi de aceea purtătorii de curent care apar ca rezultat al iluminării se mai numesc şi purtători de neechilibru. Surplusul de energie pe care îl au faţă de reţeaua cristalină purtătorii de neechilibru îl pierd prin ciocniri cu reţeaua şi cu impurităţile, astfel că ei capătă repede energia şi distribuţia purtătorilor de echilibru. Totuşi ei continuă să se numească purtători de neechilibru deşi mai nimerit ar fi să se numească numai purtători exces, deoarece ei constituie un surplus la purtătorii de echilibru.

Dacă notăm cu Δn şi Δp concentraţiile electronilor şi golurilor de neechilibru sau exces, atunci concentraţia totală a purtătorilor se scrie:

$$\sigma = e\,(n\ \mu_n + p\mu_p) = e\,(n_0 + \Delta n)\,\mu_n + e\,(p_0 + \Delta p)\,\mu_p =$$

$$= e\,(n_0\mu_n + p_0\,\mu_p) + e\,(\Delta n\,\mu_n + \Delta p\,\mu_p) = \sigma_0 + \Delta\sigma$$

σ_0 este conductibilitatea semiconductorului la întuneric, fără iluminare, iar $\Delta\sigma$ reprezintă creşterea conductibilităţii semiconductorului datorită iluminării şi se numeşte fotoconductibilitate. Deoarece conductibilitatea semiconductorului creşte prin iluminare şi deci rezistenţa lui scade, ceea ce duce la creşterea curentului prin semiconductor, un asemenea element semiconductor poartă numele de fotorezistenţă. Fotorezistenţele au mari aplicaţii în automatizare.

O importanţă şi mai mare o au fotodiodele, care sînt joncţiuni p — n, ce dau o forţă electromotoare prin iluminare.

PROBLEME PSIHOLOGICE ALE GINDIRII SPECIFICE OBIECTULUI FIZICĂ

Prof. ADRIANA ELENA TEODORU, București

În transmiterea cunoștințelor, efectele predării se oglindesc în ceea ce învață elevul și în capacitatea de a opera cu noțiunile învățate. Dar experiența dovedește că învățarea ar trebui apreciată în doi timpi în care se produce :

— învățarea în clasă, în timpul lecției și

— învățarea acasă, în timpul muncii individuale a elevului.

Cantitatea de informație achiziționată în clasă depinde în mare măsură de profesor, de predare, de climatul afectiv realizat în clasă.

Învățarea acasă, prin muncă individuală, depinde în cea mai mare măsură de elev, de aptitudinile lui, de stilul său de muncă.

În același timp pentru buna desfășurare a procesului tramsmiterii de cunoștințe în timpul lecției trebuie ca elevul să poată urmări predarea. Pentru aceasta sînt necesare o serie de condiții din care amintim :

I. — Să aibă proaspăt în minte fondul aperceptiv la care se referă profesorul.

II. — Să posede aparatul matematic la care se face apel.

III. — Să aibă interese pentru activitatea de învățare (interne sau externe).

În condițiile claselor obișnuite, datorită heterogenității pregătirii anterioare a elevilor, datorită discontinuității profesorilor de o anumită specialitate, este greu de realizat maximal sistemul acestor condiții.

Prin observația procesului de învățare la fizică în timpul experimentului* și anterior lui, am desprins o serie de particularități psihologice ale gîndirii specifice obiectului fizică.

— Principala cerință imperioasă o constituie posibilitatea transferului între concret și abstract, intuitiv și formal, particular și general, în ambele sensuri. Firește, aceste aspecte se întîlnesc și în studiul celorlalte științe, dar la fizică — știința celor mai generale forme de mișcare ale materiei — ele se evidențiază mai mult.

— Elevii trebuie să înțeleagă experiența ca pe „o întrebare pusă naturii". Ei trebuie să poată formula probleme, întrebări și să imagineze cadrul experimental care ar putea răspunde la problemă. Numai astfel, montînd experiența și observînd fenomenul, pot discerne dacă experiența a rezolvat problema, dacă montajul experimental realizat a fost adecvat sau nu. Ei trebuie să vadă în experiență un criteriu al justeței ipotezelor.

— Prin studierea fizicii trebuiesc înarmați cu metoda experimentală ca metodă de cunoaștere. Ei trebuie să poată observa un fenomen, să poată extrage și nota concluziile, să le dea un aspect formal, să parcurgă drumul de la particular la general.

— Pentru a putea înțelege explicarea multor fenomene fizice este necesară o imaginație reproductivă. Unele noțiuni se formează numai în

*) Experiment realizat la Liceul M. Sadoveanu din București sub conducerea prof. dr. docent Paul Popescu Neveanu

urma unor procese repetate de modelări şi abstractizări (de exemplu): fenomene din sistemul atomic, molecular, noţiunile de purtători de sarcină liberi, cîmp, etc.).

— Analiza şi sinteza logică, combinate cu o atentă observare şi generalizare a faptelor experimentale permit elevului să modeleze mintal anumite relaţii, procese.

— În faţa textului unei probleme de fizică elevii trebuie să recunoască un fenomen (generalul) în condiţii concrete de desfăşurare, în datele problemei (particularul). De asemenea o formulă matematică trebuie să reprezinte pentru el o dependenţă funcţională, o relaţie dimensională.

Acest mod de a gîndi se construieşte greu, uneori chiar foarte greu. Pe lîngă dificultăţile inerente procesului de educare a gîndirii intervin şi greutăţi datorită organizării sistemului şcolar, motivaţiei externe a învăţării.

Cred că este semnificativ răspunsul unei eleve (P. I) care a fost chestionată în legătură cu felul cum învaţă ea acasă.

„Rezolv problemele care mi se par mai uşoare. Apoi trec la cele mai dificile. Nu insist să fac prea multe pentru că nu-mi trebuie nici la bacalaureat, nici la facultate".

Dificultăţile întîmpinate de elev în învăţarea fizicii sînt de diferite grade şi afectează aspecte multiple. Printre cele mai importante trebuie să notăm dificultăţile de ordin matematic. Chiar pentru elevii mari cu care s-a lucrat, formulele reprezintă uneori un ecran opac în loc de o fereastră deschisă spre clarificarea relaţiilor. Foarte mulţi elevi disting greu o dependenţă liniară de una neliniară, într-o relaţie de directă proporţionalitate ei confundă rolul variabilei cu al constantei de proporţionalitate. Credem că în asemenea cazuri gîndirea nu a depăşit stadiul operaţiilor concrete. Nivelul operaţiilor formale se atinge după o muncă minuţioasă de exersare, de educare. Pe de altă parte elevii nu cunosc tehnicile de matematizare, de formalizare.

O altă categorie de dificultăţi întîmpinate de elevi provine din nepriceperea de a observa şi analiza rezultatele unei experienţe de fizică. De cele mai multe ori fenomenul nu este observabil în integritatea sa. Un anumit parametru este edificator, dar pentru a sesiza acest fapt experimental este necesară o pregătire anterioară atît teoretică cît şi experimentală. Elevii reproduc relativ uşor descrierile experienţelor din manuale dar nu pot povesti aproape nimic despre o experienţă văzută de ei. În acest sens se pune problema valorificării experienţelor efectuate în clasă. Probabil că în condiţiile unor laboratoare datorate cu material suficient pentru efectuarea frontală a experienţelor, lecţie de lecţie, această dificultate ar fi redusă la minimum.

Cea mai gravă greşală pe care o poate face un elev învăţînd este aceea de a memora cuvinte al căror sens îi este obscur.

Am constatat că o mare dificultate în însuşirea corectă a noţiunilor de fizică este nestăpînirea limbajului ştiinţific. Am întîlnit situaţii în care elevii foloseau cuvinte aparţinînd acestui limbaj dar sensul lor profund le era străin.

Aşa se explică confuzii în exprimare între voltmetru (instrument de măsurat tensiunea) şi voltametru (vas cu electrozi pentru electroliză) sau între cîmp uniform (avînd aceeaşi valoare în orice punct al spaţiului) şi cîmp constant (într-un punct cîmpul are aceeaşi valoare la orice moment de timp).

Sistemul de cunoştinţe care se alcătuieşte prin procesul de învăţămînt este ierarhizat, piramidal. Dacă într-o etapă învăţarea a fost superficială, inconsistentă toate etajele superioare ale acestei ierarhii sînt afectate. Nu se poate obţine un nivel de învăţare superior pentru cunoştinţe care se prijină pe altele învăţate prost sau neînvăţate.

În asemenea condiţii elevii recurg la a învăţa papagaliceşte cîteva fraze crezînd că astfel ar putea face faţă cerinţelor.

În organizarea lecţiei profesorul trebuie să ţină seama atît de structura materialului de prezentat cît şi de nivelul pregătirii individuale a elevilor care fac parte din clasă. Permanent, prin discuţii, printr-o strategie a întrebărilor el trebuie să ajute elevii să învingă obstacolele, să obţină succese în învăţare.

Întrebarea „cum?" poate viza fie aspectul discriptivist al fenomenului fie felul funcţiei care leagă două sau mai multe variabile („Cum depinde cîmpul electrostatic al unei sarcini punctiforme de distanţa la ea?"; „Cum variază intensitatea într-un circuit alimentat cu tensiune din ce în ce mai mare?" etc.).

Această întrebare îi obligă pe elevi să conştientizeze fie unele fapte experimentale, fie unele relaţii între fenomene.

Întrebarea „de ce?" apare foarte des în discuţia dintre elev şi profesor, pusă cînd de unul, cînd de celălalt. Profesorul care a deprins elevii să fie întrebaţi „de ce?" se găseşte frecvent în situaţia de a fi întrebat la rîndu-i de către elevi. Este chiar recomandabil să „nu spună tot", să „nu dea explicaţia" înainte de a fi formulat elevul o problemă în legătură cu aceasta. Să creem elevilor deprinderea de a-şi face probleme, paralel cu asigurarea priceperii de a le rezolva. Întrebarea „de ce" poate cere o explicaţie cauzală, din ce motive se petrec anumite lucruri aşa, „sau poate cere o justificare mai complexă": de ce lucrurile se petrec aşa şi nu altfel?" Este bine să se facă distincţia între fenomene care pot evolua univoc şi fenomene aleatorii sau cu mai multe moduri de manifestare.

La început întrebarea „de ce"? rapetată des poate fi agasantă pentru elevi, dar siliţi de exigenţa profesorului să se pregătească a-i face faţă, începe treptat să-i intereseze, să-i amuze ca un joc. Pe măsură ce se obişnuiesc cu acest mod de discuţie ei vor încerca să aducă cît mai multe argumente în sprijinul afirmaţiilor lor, pentru a nu-i lăsa loc profesorului pentru această întrebare.

Flexibilitatea gîndirii elevilor, originalitatea lor, este stimulată dacă li se pune frecvent întrebarea „Ce s-ar întîmpla dacă ...?" s-ar suspenda valabilitatea unei legi, s-ar extinde domeniul de valabilitate al alteia, s-ar schimba ipotetic cadrul experimental într-un anumit caz etc.

În aceste situaţii elevii dau frîu liber imaginaţiei şi dacă discuţia este condusă cu mult tact de către profesor — pentru a nu inhiba răspunsurile ieşite din comun — se pot scoate la iveală nuanţe deosebit de fine ale fenomenului studiat.

Este important să se facă în clasă analiza exprimărilor elevilor, exprimările din manuale, reviste. „Cum este mai corect să se spună aşa ... sau ...?". Astfel de discuţii lărgesc conţinutul semantic al cuvintelor, expresiilor folosite de elevi în expunerea orală şi scrisă a cunoştinţelor lor.

Nu de mică importanţă sînt şi dificultăţile întîmpinate de profesor în organizarea unor altfel de lecţii, în organizarea unei învăţări active. În primul rînd se resimte pregătirea lui prea unilaterală. Un profesor de liceu ar trebui să aibă o bogată cultură generală multilaterală, erudiţie

în domeniul specialității. Ar trebui să aibă la dispoziție material informativ pentru a se menține la zi cu informația științifică de specialitate.

Profesorul de fizică este handicapat de lipsa cunoștințelor de metodică a fizicii, de psihologia copilului și pedagogie. De fapt profesorul de fizică ar trebui pregătit special, el este în primul rînd un pedagog și apoi un specialist. Pregătirea actuală a profesorilor de fizică este ca și cum el ar fi în primul rînd fizician și apoi, accidental ar îndeplini și funcția de educator.

Apoi cu totul insuficientă se dovedește pregătirea lui pentru laborator.

Un bătrîn profesor al Liceului M. Sadoveanu spunea că la o experiență demonstrativă, în timpul explicației, cel mai important lucru este să o faci observabilă și pentru ultimul elev din clasă. Există o tehnică a vizualizării experiențelor demonstrative, a organizării lucrărilor de laborator, pe care un viitor profesor de fizică ar trebui să le stăpînească; de altfel obligațiile de catedră sînt suficient de mari ca pentru laborator să-i rămînă timp prea puțin.

Am analizat cîteva dificultăți ale muncii profesorului de fizică, oarecum obiective, indepentente de personalitatea lui. Dar factorul esențial în activizarea grupului de elevi îl constituie personalitatea profesorului, spiritul lui didactic creator, aprecierea lucrurilor din perspectiva rostului lor pentru om, perfecționarea neistovită, activismul obștesc în direcție democratică, încrederea în sine și în ceilalți, capacitatea organizatorică, interese susținute, forță psihică, spirit de responsabilitate, echilibrul caracterului, simț psihologic ascuțit, fantezie, originalitate, calm, curaj, sinceritate, spirit de justiție, tact, capacitate simpatetică, dragoste de muncă, controlul propriei conduite, preocuparea de a cunoaște și îndruma viața elevilor în afară de școală, ironie fecundă, simțul umorului, nuanțarea stărilor spirituale. Datorită acestor calități educatorul este prețuit și iubit de elevi, recunoscut și dorit ca îndrumător.

Operația de escaladare a dificultăților este posibil de realizat numai printr-o strategie minuțios elaborată. Trebuie făcută o distincție netă între cunoștințele esențiale și mijloacele de obținere a lor, între teoremă și demonstrația ei.

Prin întrebări puse cu grijă trebuie activizate operațiile gîndirii. Elevul trebuie să reconstruiască noțiunea care îi este transmisă. De aceea trebuie adecvate la procesul de învățămînt metodele formale și informale ale științelor folosite pentru descoperire și invenție: aplicarea unei teorii, revizuirea ipotezelor, transferul analogic, traducerea sau recodificarea, corespondența între teorii, abolirea limitelor, metoda fenomenologică, brainstorming, metoda înstrăinării etc.

Dezvoltarea gîndirii elevului este ușurată de cooperarea interindividuală. Operațiile interindividuale, proprii cooperării și operațiile intraindividuale, proprii coordonării acțiunilor (deci logicii), reprezintă un singur și același proces evolutiv social și individual.

Progresele cooperării, cu decentrarea și reciprocitatea pe care le implică sînt corelative cu progresele inversibilității operatoare, deci cu constituirea — însăși a operațiilor (J. Piaget). În acest proces are loc conturarea sferei noțiunilor și stabilirea raporturilor dintre element de o deosebită importanță în gîndirea științifică.

Ținînd seama de observațiile efectuate pe marginea acestui experiment și de experimentul însuși se pot desprinde cîteva propuneri metodico pedagogice vizînd îmbunătățirea eficienței predării fizicii în liceu.

Dacă scopul predării fizicii s-ar exprima în termeni comportamentali, ar fi posibilă întocmirea unei programe mai aerisită din punct de vedere a cunoștințelor de fizică — dar care să cuprindă și elemente de metodologia investigației, să cuprindă explicit conceptele fundamentale ale fizicii; lege, sistem, structură etc.

Pe de altă parte grafica manualelor aflate acum în uz este foarte deficitară. Credem că elevului i-ar servi mai mult un manual care să cuprindă și să prezinte temele după o schemă convențională cunoscută și distinct observabilă. De exemplu: descrierea fenomenului să fie făcută pe pagini de o anumită culoare, aceeași în toată cartea, experiențele demonstrative pe altă culoare, discuția teoretică de asemenea, iar legea, concluziile, să fie scrise cu un alt caracter de literă. În felul acesta elevul ar avea cîmpul perceptiv — la citit — organizat în același spirit cu conținutul de idei al celor citite. Un astfel de manual ar putea fi consultat ușor cînd nu-ți mai aduci aminte de ceva — ceva anume — știi unde să cauți, ar fi ușor de folosit la recapitulare, la sistematizare. Nu ne referim la manualele elaborate pentru instruire programată, deși ceva din tehnica programării, sau anumite teme ar fi bine să se introducă și în școala noastră. Dacă s-ar introduce o verificare a cunoștințelor după alte metode, s-ar putea renunța la ceea ce se numește acum „notare ritmică" și care a ajuns să fie o frînă în buna desfășurare a procesului de învățămînt. Urmăriți de ideea că au notă elevii nu învață unele lecții și atunci nu se poate asigura un nivel omogen pregătirii lor. Apoi, datorită absenței examenelor de sfîrșit de an, o tradiție a școlii noastre la care acum s-a renunțat, nu se face consolidare pentru perspectivă a cunoștințelor. De altfel și examenul de bacalaureat ar trebui organizat pe probleme de sinteză, pe elemente de creativitate, etc. Așa cîm sînt organizate școlile acum, învățămîntul fizicii este reglat nefiresc de examenul de admitere în învățămîntul superior.

Cercetările de psihologie ar trebui să stabilească ce evantai de aptitudini sînt necesare profesiilor care reclamă studii superioare, și cum ar putea acestea să fie evaluate la nespecialiști. Dacă bacalaureatul ar fi un examen care să ateste într-adevăr cultura generală a absolventului de liceu, admiterea în învățămîntul superior s-ar putea face pe baza probelor de aptitudini.

La școlile tehnice care pregătesc cadre medii ar trebui să se ceară doar absolvența liceului nu și bacalaureatul.

În acest fel factorii externi ar perturba mai puțin motivația internă pentru învățarea fizicii.

În condițiile unei motivații intense metodele de activare a învățării ar avea un succes cu mult mai mare. De altfel metodele de predare trebuie să aibă în vedere și examenul final. Într-un mod își desfășoară lecțiile profesorul, și corespunzător învață elevul, cînd știe că examenul va cere în primul rînd enumerarea specifică a unor fapte specifice, formule și demonstrații și în alt mod atunci cînd examenul va avea drept scop verificarea creativității elevilor.

Un „examen" care a început să solicite și aptitudinile creatoare ale elevilor este concursul de fizică al elevilor din liceu. Acest concurs, într-o formă nouă, sub conducerea Societății de Științe Fizice și Chimice s-a desfășurat anul acesta în a VIII-a ediție.

Concluzii

Activitatea de învățare presupune o structură-proprie oricărei acțiuni umane — care cuprinde înseși componentele psihologice ale activității în genere (informațională, operațională, motivațională) — respectiv, orientarea de tip conformațional, reglajul operațional și stimularea în planul motivațional voluntar.

Învățarea fizicii permite desfășurarea, în plan paralel, a educării gîndirii elevilor. Prin particularitățile psihologice ale gîndirii fizice se poate construi arhitectonica complicată a gîndirii științifice.

Fizica, mai mult decît alte științe, solicită permanent din partea celui care o învață să parcurgă reversibil între concret (fapt, experiență, datele problemei) și abstract (legile generale ale fenomenelor, ierarhia sistemelor structurale, interacțiuni de ordin superior).

Numai observarea atentă a fenomenului, extragerea concluziei și formalizarea ei, îmbinată judicios cu recunoașterea generalului în particularul datelor problemelor, permanent, lecție de lecție poate înarma elevul cu această suplețe a gîndirii, cu deprinderi de lucru care-i vor servi în activitatea viitoare.

Analogia, modelarea, îi permit de asemenea să-și reprezinte intuitiv fenomenele care scapă observației directe.

Prin studiul fizicii elevii pot ajunge să stăpînească metoda experimentală ca metodă de investigare a naturii. Acest lucru se poate realiza prin efectuarea de experiențe de către elevi, dar permanent dublată de discutarea valorii experienței respective. Ei trebuie înarmați cu strategii de experimentare, trebuie să capete noțiuni de calculul erorilor. Prin lecții activizante, prin atragerea elevului în procesul de descoperire a cunoștințelor, profesorul îi poate transmite, odată cu un bagaj de cunoștințe, și procedeele prin care acesta poate fi îmbogățit.

Studiul fizicii poate contribui la dezvoltarea imaginației, mai ales a celei reproductive. Prin folosirea frecventă a modelelor prin idealizare, a analogiilor între sisteme cu structuri diferite, prin utilizarea schemelor acest studiu permite — pe de o parte — înțelegerea subtilă a fenomenelor fizice și pe de altă parte — exersează mecanismele de imaginare. De altfel, toate procedeele de imaginare inventariate de Osborn și recomandate pentru antrenamentul creativ își găsesc multiple exemple în istoria evoluției fizicii ca știință.

Analiza și sinteza logică, combinate cu o atentă observare și generalizare a faptelor experimentale permit elevului să modeleze mintal anumite relații, procese.

În textul unei probleme de fizică elevii trebuie să recunoască un fenomen (generalul) în condiții concrete de desfășurare în datele problemei (particularul). În procesul de rezolvare a problemelor se poate desprinde ca latură principală latura de orientare — în plan informațional, operațional și atitudinal — care rămîne hotărîtoare.

Planul operațional se manifestă prin modalități de rezolvare, în algoritmi și strategii, care pot dobîndi anumite grade de automatizare, precum și în capacitatea de selectare a operațiilor adecvate, de combinare și construire a noi modalități de rezolvare.

Reglajul se manifestă atît prin elemente informative, cît și operaționale, dar și ca retroacțiune estimativă, apreciativă asupra soluțiilor parțiale sau finale.

În însuşirea cunoştinţelor se obţine un randament superior dacă învăţarea va stimula tot mai mult gîndirea elevilor astfel încît ei să-şi pună întrebări probleme. Important este să se valorifice aceste cunoştinţe în contextul unor sarcini nu de tip reproductiv (după modelul oferit de profesor sau manual) ci care să solicite inventivitatea elevilor, disponibilităţilor lor.

Elevii pot fi solicitaţi să rezolve sarcini practice, de la cele mai elementare, pînă la redarea sub formă de modele sau proiecte ale unor mecanisme, aparate, instalaţii electrice sau electronice. Astfel de sarcini pot contribui în mare măsură la cultivarea ingeniozităţii, a independenţei, la formarea atitudinii creative a elevilor faţă de învăţare şi faţă de realitate.

Obiectul Fizică se poate structura didactic şi aborda de pe poziţiile unei concepţii psihopedagogice moderne. Modalităţile de activare a învăţării pot fi multiple.

Principala concluzie este că mergînd pe linia unor căutări în sensul activizării învăţării rezultatele nu vor întîrzia să se arate.

Problematizarea şi euristica, modelarea şi analogia, solicitările inventive trebuie să fie momente nelipsite din orice lecţie de fizică.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

CĂTRE COLABORATORII NOȘTRI,

Articolele, notele și orice materiale destinate publicării în Revista de Fizică și Chimie seria A trebuie să fie redactate clar și concis (maximum 10 pagini dactilografiate la două rînduri) în două exemplare, însoțite de figuri desenate separat de text, cît mai sugestive, de preferință în tuș pe calc. Fotografiile trebuiesc executate în contrast puternic alb-negru. Figurile și fotografiile trebuiesc trimise de asemenea în două exemplare.

Articolele trebuiesc semnate (dactilografiat) imediat sub titlu împreună cu titlul didactic și localitatea autorului.

Pe ultima pagină, pe ambele exemplare trebuie scrisă complet adresa autorului.

În același plic cu materialul colaboratorii noștri sînt rugați să introducă și o carte poștală cu adresa proprie (la destinatar) pentru a ne ajuta în promtitudinea răspunsului.

Materialele ne publicate nu se restituie autorilor.

Pe adresa redacției primim propunerile și sugestiile Dvs. cu privire la tematica Revistei, note critice asupra articolelor publicate pînă acum.

Dorim ca Revista de Fizică și Chimie să vă fie de un real folos în activitatea Dvs. științifică și didactică.

Pentru a veni în sprijinul cititorilor care doresc să-și procure numere mai vechi din RFC, anunțăm că se mențin în vînzare, un an de la apariție, cîteva exemplare din fiecare număr la magazinele de anticariat ale Direcției de Expediere a Presei. Dăm adresa lor:

București: Bd. Magheru nr. 18 sector I, Cluj: Str. Dr. Petru Groza nr. 32, Iași: Piața Unirii nr. 7, Timișoara: Str. 9 Mai nr. 3.

Pentru a vă asigura cu regularitate revista, și a avea completă colecția, abonați-vă pe o perioadă mai îndelungată.

Costul unui abonament anual lei 36.

Costul unui abonament pe 6 luni lei 18.

Comitetul de Redacție

I. P. „Informația" c. 2495 43 459 Lei 3

SOCIETATEA DE ȘTIINȚE FIZICE ȘI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista
DE
FIZICĂ ȘI CHIMIE

SERIA A
VOLUMUL VIII

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

8

AUGUST 1971

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE
STR. NUFERILOR 23, SECTORUL 7 BUCUREȘTI – 46 TELEFON 16.42.86

SUMAR

Pag.

Asist. *Steliana Crețu*, București

1. Terpolimerii. 281

Asist. *Spiridon Dumitru* și *M. Dumitru*, Brașov

2. Teoria fenomenologică a reacțiilor sistemelor macroscopice la excitații exterioare. 288

Asist. *Dorina Toma*, Galați

3. Asupra metodelor de măsură în radiofrecvență a factorului de pierderi al condensatoarelor 295

Asist. *Dragoș Blănariu*, Iași

4. Radiația cosmică solară. 302

Gh. Bendescu și lector *Gh. Singurel*, Iași

5. Dispozitiv pentru studiul polarizării luminii prin reflexie și transmisie. 309

Asist. *Stana Rusenescu*, București

6. Metode pentru determinarea viscozității lichidelor. 313

COMITETUL DE REDACȚIE

Constantin D. Albu, lector univ.; **Teodor Bohățiel**, asist. univ.; **Simion Bulgărea** prof.; **Maria Codreanu**, prof.; **Andra Körner**, redactor; **Nicole Martalogu**, conf. univ. **Eleonora Mihul**, cercetător; **Ion C. Moisil**, conf. univ.; **Alice Negoescu**, prof. **Ion C. Petrea**, conf. univ.; **Victor Sahini**, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România) **Elena Teodoru**, prof.

BIBLIOTECA „AST...
SIBIU

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

SERIA A

Volumul VIII, nr. 8 august 1971

TERPOLIMERII

Asistent *CREŢU STELIANA*, Bucureşti

Terpolimerii sînt copolimeri ai etilenei cu propilena în lanţul cărora s-au încorporat duble legături prin introducerea în cantitate limitată a unor grupări nesaturate. Aceasta s-a realizat intervenindu-se în copolimerizarea etilenei cu propilena, cu un al treilea monomer (1), (2), avînd una sau mai multe grupe funcţionale capabile să dea reacţii în lanţ cu sulful şi acceleratorii în condiţii obişnuite de vulcanizare. Astfel se evită unele incoveniente de la vulcanizarea cu peroxid, cum este în cazul copolimerului etilen-propilenic, creîndu-se posibilitatea vulcanizării clasice cu sulf.

În calitate de cel de-al treilea monomer (1), (3), în copolimerizarea etilenei cu propilena, pentru obţinerea terpolimerilor, au fost propuşi diferiţi compuşi dienici. Aceştia trebuie să fie capabili să se polimerizeze în mod omogen cu ceilalţi doi monomeri, astfel încît să nu se prejudicieze proprietăţile elastice ale copolimerului şi să prezinte garanţia unei distribuţii omogene de-a lungul lanţului macromolecular.

Dintre hidrocarburile recomandate (1) pentru obţinerea terpolimerilor pot fi menţionate diferite tipuri, cu una sau mai multe duble legături : diene alifatice, cu lanţul liniar sau ramificat, diene conjugate sau neconjugate, diene din clasa compuşilor endometilenici şi poliene ciclice, conform tabelului :

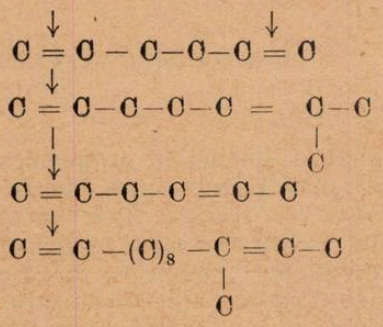
Diene alifatice		Compuşi endometilenici	Poliene ciclice
conjugate	neconjugate		
butadiena	pentadiena 1—4	norbornadiena (biciclo 2,2,o- heptadiena)	cis cicloactadiena 1—5(3), (4)
izopren	2 metil pentadiena 1—4	diciclopentadiena (2), (8)	
hexadiena	hexadiena 1—5	metilen-norbornena (metilen bicicloheptena)	
izooctadiena	hexadiena 1—4, 2 metil hexadiena	alkyl-2 norbornadiena (alkyl C_8—C_{21}) metildiciclopentadienă	

Aceştia au fost utilizaţi în cantitate limitată pentru a nu afecta proprietăţile produsului şi pentru a permite o polimerizare omogenă. Distribuţia lor, trebuie să fie regulată în lanţul macromolecular, iar legă-

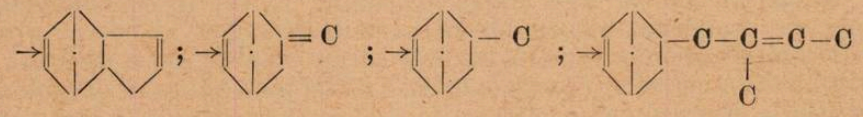
turile duble ce nu intervin în polimerizare să nu participe la reacţii secundare ce duc la ramificarea lanţului. Conţinutul în legături duble se limitează la maximum 3—4 pentru o unitate de 100 monomeri (1).

Numărul dublelor legături prezente în lanţul polimerului poate fi reglat în limite largi în funcţie de condiţiile de sinteză şi de cel de al treilea monomer ales.

În reacţiile de polimerizare, dubla legătură terminală a dienelor alifatice ($C \overset{\downarrow}{=} C$) este activă după cum se vede mai jos :

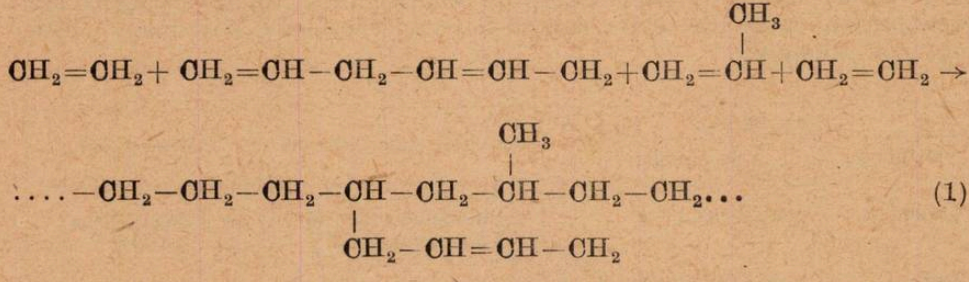


Pot fi utilizate în calitate de termonomeri şi dienele ciclice de tipul norbornenelor (8)

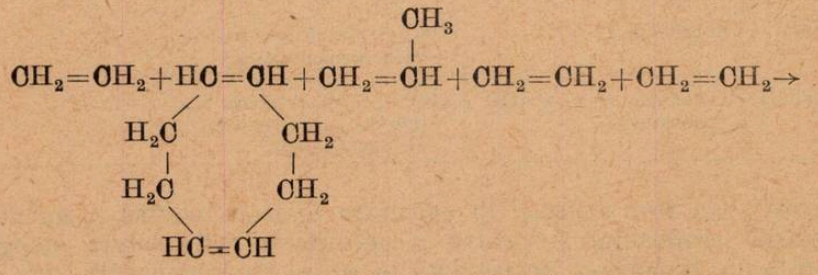


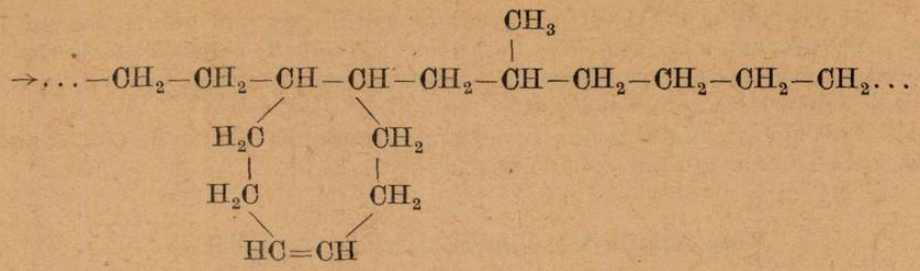
($C \overset{\downarrow}{=} C$) fiind dubla legătură activă (2).

Astfel se presupune că reacţia de terpolimerizare merge după următoarea schemă :



(1)





(2)

Legătura dublă internă, apare în polimer pe lanţurile laterale, făcînd posibilă vulcanizarea (1). Sînt preferate dienele neconjugate cu o singură legătură terminală deoarece atunci cînd se folosesc diene cu două duble legături terminale, o parte a dienelor pot intra în structură ciclică conducînd la pierderea nesaturării şi contaminarea elastomerului cu o fracţiune de produs recticulat. Tot pentru evitarea ciclizării se pot utiliza monomeri cu duble legături în lanţul alifatic separate de un ciclan, spre ex : divinil 1—2 ciclobutan, divinil 1—2 ciclopentan, etc.

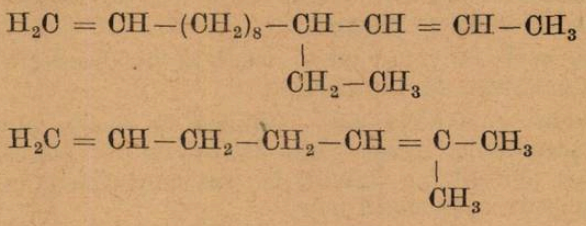
Uşurinţa de încorporare a dienelor variază conform schemei (1).

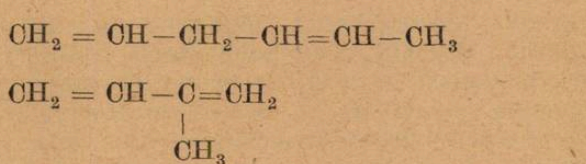
Diene

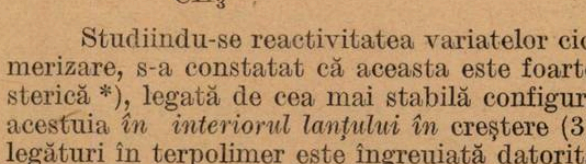
Uşurinţa de incorporare a dienelor

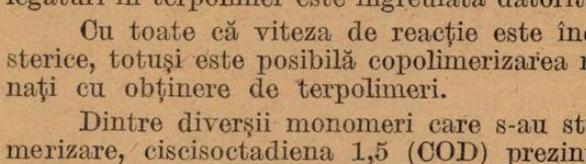
uşor

diene ciclice (norbornene) ciscicloctadiena 1—5









greu

Studiindu-se reactivitatea variatelor cicloolefine în procesul de polimerizare, s-a constatat că aceasta este foarte influenţată de împiedicarea sterică *), legată de cea mai stabilă configuraţie a ciclului, după intrarea acestuia *în interiorul lanţului în* creştere (3). Astfel introducerea dublei legături în terpolimer este îngreuiată datorită împiedicării sterice.

Cu toate că viteza de reacţie este încetinită datorită împiedicării sterice, totuşi este posibilă copolimerizarea monomerilor mai sus menţionaţi cu obţinere de terpolimeri.

Dintre diverşii monomeri care s-au studiat în procesul de terpolimerizare, ciscisoctadiena 1,5 (COD) prezintă un interes deosebit (3) datorită următoarelor considerente :

1) Terpolimerii ciclooctadienei au excelente proprietăţi ;

*) Impiedicarea sterică este un fenomen cinetic şi constă în micşorarea vitezei de reacţie (în condiţii comparabile) a unei substanţe de bază nesubstituite (5). Substituenţii cu volum mare, ca grupele CH_3 şi C_6H_5, cauzează încetiniri considerabile ale reacţiilor.

2) Terpolimerii C.O.D. nu prezintă ramificaţii sau geluri, iar dubla legătură prezentă în unitatea monomerică poate fi considerată complet inertă în procesul de terpolimerizare anionică coordinativă, deşi manifestă o înaltă reactivitate în vulcanizarea cu sulf şi acceleratori.

3) Ciclooctadiena poate fi uşor produsă plecînd de la butadienă care este uşor accesibilă, la un preţ moderat.

Proprietăţile terpolimerilor etilen—propilenici

Întrucît macromoleculele terpolimerilor conţin un număr limitat de unităţi monomerice din cel de al treilea monomer, în comparaţie cu etilena şi propilena, aceşti elastomeri au aceleaşi proprietăţi ca ale copolimerului etilenei şi proprilenei; în particular densitatea, permeabilitatea la gaze şi vapori, proprietăţile elastice, rămîn neschimbate. Proprietăţile lor viscoelastice sînt foarte asemănătoare cu acelea ale copolimerului etilen — propilenic, cînd raportul dintre etilenă şi propilenă şi cînd media greutăţii moleculare şi distribuţia acesteia sînt identice.

Terpolimerii sînt copolimeri liniari, amorfi, cu greutatea moleculară mare (> 20000) (10).

Terpolimerul nevulcanizat este solid, transparent, de culoare albă sau galbenă, avînd aparenţa unui cauciuc dienic din comerţ. Este stabil la stocaj şi nu prezintă tendinţă de cristalizare. Rămîne stabil şi după menţinerea lui o perioadă la temperatura 0°C. Vîscozitatea acestor elastomeri este mai ridicată decît a celor de uz general.

Ele se pot prelucra mai uşor, iar masa lor moleculară nu descreşte mult în timpul prelucrării pe calandre, la 120°C (13).

Proprietăţile terpolimerului vulcanizat sînt similare cu acelea ale copolimerului saturat etilen propilenic. Aceşti polimeri diferă de elastomerii obişnuiţi prin lanţul lor polietilenic flexibil la care sînt fixaţi la un interval relativ regulat substituienţii metil inerţi.

Terpolimerul este un produs hidrocarbonat nesaturat care este mult mai stabil la acţiunea agenţilor (O_2, O_3), decît poliolefinele, datorită structurii sale. Agenţii oxidanţi, în special O_2 şi O_3, favorizaţi de căldură şi lumină, care le furnizează energie de activare, se localizează atomar la nivelul dublei legături (C = C), producînd degradarea elastomerilor clasici.

Permeabilitatea terpolimerilor la gaze (ozon, oxigen, bioxid de carbon) este aceeaşi ca la cauciucul natural, dar este inferioară permeabilităţii cauciucului butil.

Prezintă o rezistenţă la şoc mai bună decît a cauciucului butadien stirenic, a butil cauciucului sau a copolimerului etilen propilenic (12).

Aceşti elastomeri au excelente proprietăţi electrice. Pot fi utilizaţi în industria cablurilor şi a firelor datorită rezistenţei excelente la degradare, la acţiunea căldurii, a oxigenului, ozonului şi luminii.

Polimerul cu un conţinut mai mare de 80% etilenă prezintă cristalinitate, fapt ce afectează sensibil solubilitatea în solvenţi, precum şi proprietăţile sale dinamice. Pentru evitarea cristalinităţii nu se ia mai mult de 35% etilenă, performanţele polimerului la temperaturi scăzute sînt mult diminuate. Funcţie de necesităţi, prin varierea conţinutului în etilenă se pot ameliora proprietăţile copolimerului la temperaturi joase, la fel ca în cazul copolimerului etilen-propilenic.

Vulcanizatele terpolimerilor etilen-propilenici gonflează foarte pronunţat în solvenţii hidrocarbonaţi, în uleiuri, hidrocarburi clorurate, tetrahidrofuran, esenţe de terepentină, etc. Ele prezintă însă, o rezistenţă ridicată, la acţiunea compuşilor polari (apă, eteri, cetone, alcooli, etilenglicol, etc.).

Pot fi utilizaţi în cazul manipulării acidului sulfuric, a hipocloritului de sodiu 20%, a soluţiilor alcaline. Nu sînt recomandate pentru amestecuri nitrice şi cromice concentrate.

Sinteza terpolimerilor

Condiţiile de sinteză ale diverşilor terpolimeri nu diferă în mod esenţial de acelea ale copolimerizării simple etilenă — propilenă. Condiţiile de lucru alese trebuie să corespundă tipului de termonomer ales, pentru a se putea asigura o distribuţie statistic omogenă în toate macromoleculele şi pentru a obţine vulcanizate cu proprietăţi mecanice şi dinamice bune.

Terpolimerii au fost obţinuţi în prezenţa unor catalizatori speciali, care acţionează printr-un mecanism de coordinare anionică, preparaţi din compuşi organometalici (ai metalelor din grupa I, III) şi compuşi halogenaţi sau organici ai metalelor de tranziţie (Ti, V).

Catalizatorul trebuie să se prezinte sub forma unui sistem omogen sau coloidal în mediul de polimerizare. Astfel, s-au folosit următoarele sisteme catalitice (3,4,6).

$$VCl_4 - Al(C_6H_{13})_3$$

$$VCl_4 - Al(C_2H_5)_2\,Cl$$

$$VCl_4 - Al_2(C_2H_5)_3Cl_3$$

$$VOCl_3 - Al(C_2H_5)_2Cl$$

$VOCl_3 - Al\,(C_4H_9)_2Cl$, etc. în solvenţi ca heptan (10,11), hexan (12) şi benzen (13), perfect uscaţi.

În cazul utilizării heptanului drept solvent s-a constatat că greutatea moleculară a terpolimerului creşte rapid, atingînd valori înalte în cîteva minute. În cazul utilizării benzenului, terpolimerului manifestă o creştere uniformă a greutăţii moleculare pe tot parcursul reacţiei, atingînd în final o valoare moderată.

Se consideră că unul dintre cele mai bune sisteme catalitice este acela preparat din compuşi de vanadiu solubili în hidrocarburi şi compuşi organometalici de aluminiu (3). Astfel s-a constatat experimental că sistemul catalitic format din $VCl_4 + Al_2Et_3Cl_3$, în heptan, este mai eficient pentru introducerea nesaturării în terpolimer.

Principalii factori care influenţează constanta de viteză de reacţie a terpolimerizării sînt următorii:

1) raportul molar dintre compuşii de aluminiu şi vanadiu, în anumite limite: (moli compus de Al/moli compus de V);

2) concentraţia catalizatorului;

3) concentraţia monomerului în faza de reacţie;

4) temperatura de polimerizare;

Influența excercitată de raportul Al/V, asupra gradului de polimerizare poate fi atribuită existenței procesului de transfer între lanțurile în creștere și compusul alkyl-aluminic. Scăderea raportului Al/V, în catalizator, conduce la scăderea randamentului în terpolimer.

Compoziția terpolimerului obținut variază cu condițiile principale ale polimerizării și depinde de compusul de vanadiu și de raportul dintre concentrațiile monomerilor.

Formarea terpolimerului este în strînsă dependență cu timpul ce se scurge între formarea complexului catalitic și introducerea celui de al treilea monomer, care dezactivează catalizatorul făcînd să descrească viteza de reacție (12). Pentru a evita acest lucru și pentru a obține rezultate bune, se introduce cel de al treilea monomer în vasul de reacție, după introducerea complexului catalitic.

Procesul de terpolimerizare are loc la temperaturi joase ($-10 \div -20°C$), într-un vas de reacție în care se introduce solventul în mediu de gaz inert (N_2), complexul catalitic preparat în prealabil (la $-20°C$) și apoi cel de al treilea monomer, conform raportului molar stabilit. Amestecul gazos de etilenă propilenă se introduce în tot timpul polimerizării respectîndu-se raportul molar dinainte stabilit. Terpolimerizarea se întrerupe prin introducerea HCl și MeOH în care se dizolvă un stabilizator (10).

Vulcanizarea terpolimerului

Vulcanizarea terpolimerului poate fi condusă convenabil exploatînd avantajul creat de către dubla legătură prezentă de-a lungul lanțului.

De fapt nesaturarea terpolimerului care permite vulcanizarea cu sulf și acceleratori, nu este conținută în lanțul principal al terpolimerului (1) (vezi reacția 1,2). Datorită acestui fapt viteza de vulcanizare este relativ lentă și necesită o concentrație ridicată de acceleratori și o temperatură mai ridicată decît în cazul vulcanizării cauciucului natural (3).

Vulcanizarea se poate efectua cu amestecuri bazate pe sulf și acceleratori, în prezența oxidului de zinc (ZnO) ca activator. Acceleratorul folosit în mod curent este de tipul „ultrarapid" singur sau în combinație cu acceleratori secundari.

Se poate aplica și vulcanizarea cu peroxid (folosită în mod curent pentru copolimerul etilen — propilenic) obținîndu-se vulcanizate cu calități satisfăcătoare.

Viteza de vulcanizare este considerată ca timpul necesar pentru obținerea unui înalt grad de reticulare și depinde de tipul de amestec utilizat și de nesaturarea prezentă de-a lungul lanțului polimerului. Timpul optim este diferit, în funcție de diferitele feluri de nesaturare, de felul dublelor legături, de vîscozitate, de felul terpolimerului inițial (crud).

Temperatura de vulcanizare depinde de tipul de amestec utilizat.

Proprietățile finale mecanice, elastice, etc., ale vulcanizatului, nu depind numai de rețeta utilizată ci și de calitatea terpolimerului inițial, de vîscozitate, de felul dublelor legături conținute și de media greutății moleculare.

Nesaturarea terpolimerului are un rol deosebit de important în procesul de vulcanizare. Astfel cînd conținutul dublelor legături este relativ ridicat, se obțin vulcanizate cu un înalt grad de reticulare care permit adiția uleiurilor plastifiante, în cantități considerabile. Terpolimerii cu greutate moleculară înaltă și cu nesaturare suficientă pot fi în mod curent umpluți cu uleiuri obișnuite provenite din țiței, fapt deosebit de interesant din punct de vedere comercial.

Tipul și cantitatea de ingredienți ce intră în rețetele amestecurilor pot varia în cadrul unor limite largi, astfel încît să se satisfacă diferitele cerințe ale vulcanizatelor dorite pentru produsul finit. Pentru ca acesta să aibă o rezistență la tracțiune ridicată, se folosesc ingredienți activi ca negru de fum de diferite tipuri, silice fin dispersată, etc. De asemenea se mai pot utiliza (în prezența acceleratorilor de vulcanizare), ingredienți ca argila, hidroxidul de calciu, etc., obținîndu-se efecte comparabile cu ale altor elastomeri hidrocarbonați.

Concluzii

Problema sintezei terpolimerilor comportă următoarele dificultăți:

1) Pentru a menține caracteristicile specifice de rezistență la îmbătrînire și la agenții oxidanți, tipică pentru copolimerul etilen propilenic este necesar să se obțină terpolimeri în care prezența nesaturării să se afle într-un procent mic.

2) Pentru obținerea vulcanizatelor cu proprietăți bune trebuie ca nesaturarea să fie distribuită uniform în toată masa moleculei.

3) Pentru evitarea reticulării sau ramificării în timpul procesului, dubla legătură dienică, din interiorul lanțului polimeric trebuie să fie inertă, adică să nu reacționeze în continuare pe parcursul polimerizării.

Aceste dificultăți se pot atenua însă, printr-o alegere judicioasă a condițiilor de sinteză și prin conducerea procesului de polimerizare după parametri inițial stabiliți.

Terpolimerii bazați pe etilenă și propilenă sînt elastomeri care prezintă o excelentă balanță a proprietăților mecanice și dinamice bune, cuplate cu o înaltă rezistență la agenții degradabili.

În concluzie folosirea terpolimerilor în industria cauciucului este foarte avantajoasă datorită:

— greutăți specifice mici (0,86 kg/cm^3);

— posibilității de extindere (șarjare) cu cantități mari de ulei și umpluturi, ceea ce reduce din prețul de cost;

— excelentei sale rezistențe la agenții oxidanți.

BIBLIOGRAFIE

1. *Natta G., Crespi G., Valvassori A.*, Rubb. Chem. Tech. Rubb. Rev. 1963., 36.
2. *Glading K., Fischer B. S., Collett J. W.*, Ind. Ehb. Chem. Proc. Res. Dec. 1962. 6, I, 2. 63.
3. *Natta G. Mazzanti G., Crespi G., Valvassori A., Sartori G.* Rubb. Chem. Tech. 1963, 4 36. 988—99.
4. *Natta G., Crespi G., Mazzanti G., Valvassori A., Sartori G.*, Chemie Ind. Milano 1963, 6 45, 651—6.
5. *Nenițescu C. D.* Tratat elementar de chimie organică. Vol. II. 156
6. *Natta G. Crespi G., Mazzanti G.*, Procc. Rubb. Tech. 1962, 43 12.

7. *Varbone J. J., Fancett M. S., Goldberg E. J.*, Industr. Eng. Chem. Prod. Res. dec. 1962, 6, I, 2, 70.
8. *Neniţescu C. D.* Tratat elementar de chimie organică Vol. I 227—2276.
9. C. A. 66. 1967. 9018. International Sintetic Rubb. Co. Ltd. Neth. App. Dec. 221966. Britt. Appl. Iun. 21, 1965.
10. C. A. 64, N. 5. Feb. 1966, Soc „Montecatini" Ital. 678, 398, a Dec. 10, 1964, Appl. Nov. 26, 1962 Soc „Montecatini" Ital. 678, 398, a, Dec., 10. 1964., Appl. Nov. 26, 1962.
11. C. A. 66. 1967., Nr. 20, p. 8108.
12. C. A. 66. 1967. Nr. 22., mai 29, p. 9016
13. *Cunningham Robert* E. Goodyar Tire & Rubb. Co. Ohio. . Polimer Sci. Part. A—L 5 (2), 243 — 9. 1967.
14. *Rosche L. D.* Rubb. Age. 1963., 6, 03, 921—8.

TEORIA FENOMENOLOGICĂ A REACŢIILOR SISTEMELOR MACROSCOPICE LA EXCITAŢII EXTERIOARE.

S. DUMITRU şi *M. DUMITRU*, Braşov

Sistemele macroscopice statistice [adică sistemele formate dintr-un număr mare (ce permite aplicarea teoriei probabilităţilor) de particule constituente, aflate în condiţii exterioare ce se modifică în timp nu pot, în general, să se afle în stări de echilibru, în ele decurgînd procese ireversibile [1—3]. Studiul teoretic al comportării acestor sisteme constitue obiectul teoriei proceselor ireversibile şi este făcut în două maniere — cea fenomenologică şi cea statistică (bazată pe statistica clasică sau cuantică). Studiul fenomenologic porneşte de la anumite observaţii experimentale cu caracter general pe care le postulează folosindu-le apoi ca axiome.

Încercăm să prezentăm aici teoria fenomenologică a reacţiilor sistemelor macroscopice la excitaţii exterioare, adică teoria comportării acestor sisteme în cîmpuri de forţe* exterioare dependente de timp. Vom aborda cazul cînd mărimile care caracterizează starea macroscopică a sistemului depind, în general, şi de valorile forţelor la momente diferite de momentul măsurătorii. Acest caz prezintă [4] o importanţă deosebită cînd forţele exterioare sînt rapid variabile, cu frecvenţe suficient de mari ca să fie comparabile cu frecvenţele mişcărilor proprii ale particulelor constituente, însă totuşi mici, pentru ca ele să poată fi tratate într-o manieră macroscopică.

Un sistem macroscopic cu n grade de libertate macroscopice este caracterizat [3] prin n parametri macroscopici independenţi A_i ($i = 1,2 \ldots . n$). De exemplu în cazul particular cînd gradele de libertate macroscopice sînt gradele de libertate electrice şi magnetice, aceşti parametrii macroscopici aînt [4] componentele vectorilor moment electric $\vec{P}$ şi moment magnetic $\vec{M}$. Schimbarea stării macroscopice a sistemului, adică a valorii parametrilor A_i, se produce datorită acţiunii a n forţe generalizate independente, în general dependente de timp, $F_i(t)$ ($i = 1,2,\ldots,n$). În cazul particular menţionat mai sus aceste forţe generalizate sînt componentele cîmpurilor exterioare, electric $\vec{E}$ şi magnetic $\vec{H}$.

* Sensul în care este folosit cuvîntul forţe aici, diferit de cel întîlnit în mecanică, va reieşi din cele expuse în continuare.

Printr-o alegere convenabilă a originii scărilor în care se măsoară mărimile A_i, valorile acestora la un moment de timp oarecare înainte de acțiunea forțelor exterioare (de exemplu $t = -\infty$) pot fi luate nule. Abaterile $A_i(t)$ de la aceste valori, ca urmare a acțiunii forțelor F_i asupra sistemului, la un moment ulterior t, se numesc reacțiile sistemului.

Problema ce se ridică în teoria proceselor ireversibile este de a stabili care este dependența acestor reacții de forțele generalizate. Pentru forțe suficient de mici, generalizînd observațiile experimentale, se admite că relațiile între reacții și forțe sînt [2, 3] liniare. Aceasta înseamnă că dacă acționînd asupra unui sistem fizic forțele $F_i'(t)$ dau naștere la reacțiile $A_i'(t)$, iar forțele $F_i''(t)$ la reacțiile $A_i''(t)$, atunci forțele $\alpha_i' F_i'(t) + \alpha_i'' F_i''(t)$ (α_i' și α_i'' sînt mărimi constante) vor da naștere la reacțiile $\alpha_i A_i'(t) + \alpha_i'' A_i''(t)$. Forma cea mai generală a acestor reacții liniare este [2, 3]:

$$A_i(t) = \sum_{k=1}^{n} \int_{-\infty}^{\infty} G_{ik}(t, t') F_k(t')\, dt' \tag{1}$$

$G_{ik}(t,t')$ sînt funcțiile Green temporale. Aceste funcții sînt determinate în întregime de proprietățile și structura sistemului statistic la care se referă. Ele caracterizează complet, în sens macroscopic, comportarea sistemului statistic. Evident o descriere completă în sens macroscopic trebuie să cuprindă și funcții care să dea informații referitoare la fluctuațiile (abaterile de la valorile medii) mărimilor ce caracterizează macroscopic sistemul. Introducerea unor astfel de funcții, ca de altfel problematica fluctuațiilor, revine teoriilor statistice. În cadrul acestor teorii pentru fluctuațiile de echilibru se arată [2,3], prin teorema fluctuație — disipație, că o măsură cantitativă a fluctuațiilor poate fi exprimată cu ajutorul funcțiilor Green, $G_{ik}(t,t')$.

Generalizînd anumite observații experimentale referitoare la comportarea sistemelor statistice se pot pune în evidență [2,3,5], cîteva proprietăți foarte generale ale funcțiilor $G_{ik}(t,t')$. O constatare experimentală de acest fel este proprietatea de invarianță temporală a comportării sistemelor fizice. Conform acestei proprietăți reacțiile unui sistem fizic vor fi aceleași, dacă se repetă experiența cu aceleași forțe. Pentru a stabili ce proprietate decurge de aici pentru funcțiile G_{ik} să admitem că forțele au forma următoare:

$$F_k(t) = \begin{cases} F_k^0 & \text{pentru } 2\,|t - t_0| < \delta t_0 \\ 0 & \text{pentru } 2\,|t - t_0| > \delta t_0 \end{cases} \tag{2}$$

δt_0 fiind un interval temporal infinitesimal.

Atunci conform relațiilor (1) reacțiile sistemului vor fi:

$$\delta A_i(t) = \sum_{k=1}^{n} G_{ik}(t, t_0) F_k^0\, \delta t_0 \tag{3}$$

Proprietatea de invarianță temporală cere ca, dacă repetăm experiența după un timp ϑ, să aibă loc relațiile:

$$\delta A_i(t + \vartheta) = \sum_{k=1}^{n} G_{ik}(t + \vartheta, t_0 + \vartheta) F_k^0\, \delta t_0 \tag{4}$$

cu

$$\delta A_i(t + \vartheta) = \delta A_i(t) \tag{5}$$

Din (3), (4) și (5) rezultă că funcțiile $G_{ik}(t, t')$ satisfac relațiile:

$$G_{ik}(t + \vartheta, t_0 + \vartheta) = G_{ik}(t, t_0) \tag{6}$$

pentru ϑ arbitrar. Aceste relații arată că funcțiile $G_{ik}(t, t')$ sînt invariante față de transformările $t \to t + \vartheta$, $t' \to t' + \vartheta$, transformări care corespund schimbării originii (translației) axei temporale. Aceasta înseamnă că variațiile δG_{ik} ale funcțiilor Green la o translație infinitesimală arbitrară $\delta\vartheta$ a axei temporale sînt nule, adică:

$$\delta G_{ik} = \left(\frac{\partial G_{ik}(t, t')}{\delta t} + \frac{\partial G_{ik}(t, t')}{\partial t'} \right) \delta \vartheta = 0 \tag{7}$$

De aici rezultă relațiile

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial t'} \right) G_{ik}(t, t') = 0 \tag{8}$$

Dacă se face schimbarea de variabile:

$$\tau = t - t', \quad \eta = t + t' \tag{9}$$

care implică relațiile:

$$\frac{\partial}{\partial \tau} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial t'} \right), \quad \frac{\partial}{\partial \eta} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial t'} \right) \tag{10}$$

relațiile (8) capătă forma:

$$\frac{\partial}{\partial \eta} G_{ik}(\tau, \eta) = 0 \tag{11}$$

De aici rezultă imediat că funcțiile Green nu depind de variabila $\eta = t + t'$, ci numai de variabila $\tau = t - t'$. Astfel, din condiția de invarianță temporală a comportării sistemelor fizice rezultă pentru funcțiile $G_{ik}(t, t')$ proprietatea:

$$G_{ik}(t, t') = G_{ik}(t - t') \tag{12}$$

O altă observație experimentală este aceea că reacțiile unui sistem la un moment dat nu pot depinde decît de valorile forțelor la momente anterioare (nu și posterioare) momentului respectiv. Această proprietate a comportării sistemelor fizice, cunoscută sub numele de principiul cauzalității, impune — după cum se vede din relațiile (1) și (12) — ca funcțiile $G_{ik}(t - t')$ să posede următoarea proprietate:

$$G_{ik}(t - t') = 0 \quad \text{pentru } t' > t \tag{13}$$

Avînd în vedere (9), (12) şi (13) relaţiile (1) se scriu :

$$A_i(t) = \sum_{k=1}^{n} \int_0^{\infty} G_{ik}(\tau) F_k(t - \tau) \, d\tau \tag{14}$$

Din observaţiile experimentale se ştie că reacţiile sistemelor fizice supuse acţiunii unor forţe a căror dependenţă de timp este de forma (2), cu F_k° finite, sînt finite. De aici, avînd în vedere realaţiile (3), rezultă că funcţiile $G_{ik}(\tau)$ au proprietatea :

$$G_{ik}(\tau) = \text{mărimi finite pentru orice } \tau > 0. \tag{15}$$

Se observă de asemenea că acţiunea unor forţe constante şi finite într-un interval de timp indefinit de lung, asupra sistemelor fizice, induce în acestea reacţii finite. Această proprietate conduce, prin intermediul relaţiilor (14), la faptul că :

$$\int_0^{\infty} G_{ik}(\tau) \, d\tau = \text{mărimi finite} \tag{16}$$

adică funcţiile $G_{ik}(\tau)$ sînt integrabile.
Relaţiile (12), (13), (15), şi (16) reprezintă proprietăţile fundamentale ale funcţiilor Green temporale $G_{ik}(\tau)$, introduse din considerente fenomenologice.

Dacă se introduc transformatele Fourier $f(\omega)$: $A_i(\omega)$, $G_{ik}(\omega)$, $F_k(\omega)$, ale funcţiilor $f(t)$: $A_i(t)$, $G_{ik}(t)$, $F_k(t)$, prin relaţiile :

$$f(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{i\omega t} \, dt$$

$$f(t) = Re \int_{-\infty}^{\infty} f(\omega) e^{-i\omega t} \, d\omega = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} (f(\omega) e^{-i\omega t} + f^*(\omega) e^{i\omega t}) \, d\omega \tag{17}$$

(transformarea inversă — relaţia a doua — s-a scris sub această formă pentru a scoate în evidenţă în mod explicit faptul că funcţiile $f(t)$ sînt reale) şi avînd în vedere teorema de convoluţie [7] relaţiile (14) conduc la relaţiile :

$$A_i(\omega) = \sum_{k=1}^{n} G_{ik}(\omega) F_k(\omega) \tag{18}$$

Funcţiile $G_{ik}(\omega)$ se numesc susceptibilităţi generalizate, sau admitanţe generalizate (uneori se notează cu $\chi_{ik}(\omega)$). Ele sînt legate [2] de impedanţele $Z_{ik}(\omega)$ prin relaţiile $\omega G_{ik}(\omega) = i [Z_{ik}(\omega)]^{-1}$. În cazul cînd gradele de libertate macroscopice sînt electrice sau magnetice, susceptibilităţile generalizate $G_{ik}(\omega)$ sînt legate [4] de permitivităţile electrice $\varepsilon_{ik}(\omega)$, respectiv permeabilităţile magnetice $\mu_{ik}(\omega)$, prin relaţiile : $4\pi G_{ik}(\omega) = \varepsilon_{ik}(\omega) - \delta_{ik}$, respectiv $4\pi G_{ik}(\omega) = \mu_{ik}(\omega) - \delta_{ik}$. Analiza proprietăţilor susceptibilităţilor generalizate joacă un rol important în teoria proceselor ireversibile.

Din proprietăţile generale, deduse din considerente fenomenologice, (12), (13), (15) şi (16) ale funcţiilor Green $G_{ik}(\tau)$, se pot obţine[2,3,7] cîteva proprietăţi foarte importante ale susceptibilităţilor generalizate $G_{ik}(\omega)$ cu ajutorul aparatului matematic al funcţiilor de variabilă complexă, luînd pe ω ca variabilă complexă de forma $\omega = \omega' + i\omega''$. Din (17), (13), (15) şi (16) rezultă că $G_{ik}(\omega)$ sînt funcţii univoce în tot semiplanul superior al variabilei ω, şi nu au puncte singulare în nici un punct al acestui semiplan. Aceasta datorită faptului că pentru $\omega'' > 0$ în expresiile de sub integrale în (17) apare un factor de forma $e^{-\omega'' t}$ şi $G_{ik}(\tau)$ fiind finite în tot domeniul de integrare [relaţia (15)] integralele converg. Proprietatea (16) a funcţiilor $G_{ik}(\tau)$ asigură posibilitatea definirii susceptibilităţilor generalizate $G_{ik}(\omega)$ şi pe axa reală: $\omega = \omega' + i\,0$, inclusiv în originea $\omega = 0 + i0$ a planului complex. Factorul $e^{-\omega'' t}$ face ca pentru $\omega'' < 0$ integralele (17) să fie, în general, divergente şi ca atare folosirea lor pentru definirea funcţiilor $G_{ik}(\omega)$ în semiplanul inferior al variabilei ω să nu mai fie îndreptăţită. În semiplanul inferior al variabilei ω funcţiile $G_{ik}(\omega)$ pot fi definite numai ca prelungiri analitice ale expresiilor lor din semiplanul superior. Ele au în general puncte singulare în acest semiplan.

Din (17) avînd în vedere că $G_{ik}(\tau)$ sînt reale rezultă imediat relaţiile:

$$G_{ik}(-\omega^*) = G_{ik}^*(\omega) \tag{19}$$

Pornind de la faptul că funcţiile $G_{ik}(\omega)$ nu au puncte singulare în semiplanul superior al variabilei ω se poate arăta [2] că ele nu au valori reale în nici un punct al acestui semiplan cu excepţia [ce rezultă din (19)] punctelor de pe semiaxa imaginară. Pe semiaxa imaginară, funcţiile $G_{ik}(\omega)$ descresc-monoton de la $\omega = i0$ la $\omega = i\,\infty$. În particular aceste proprietăţi arată că funcţiile $G_{ik}(\omega)$ nu au zerouri în semiplanul superior al variabilei ω.

Faptul că funcţiile $G_{ik}(\omega)$ nu au puncte singulare în semiplanul superior conduce [2] de asemenea la relaţiile Kramers — Kronig, sau relaţiile de dispersie. Pentru a obţine aceste relaţii să calculăm integralele:

$$I_{ik} = \oint_C \frac{G_{ik}(\omega)}{\omega - \omega_0}\,d\omega \tag{20}$$

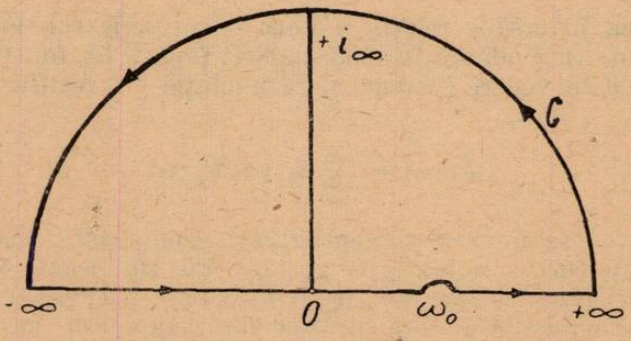


Fig. 1

luate în sensul indicat pe figură, pe conturul C format din axa reală [cu înconjurarea pe deasupra, pe un cerc de rază infinitesimală a punctului $\omega = \omega_0$ (ω_0 este o valoare reală)] şi semicercul de rază infinită. Expresiile

de sub integrale fiind analitice pe domeniul din interiorul conturului C, integralele sînt nule. Integralele pe cercul de rază infinită sînt nule, iar pe cercul de rază infinitesimală au valorile $-i\pi G_{ik}(\omega_0)$. Astfel se obţin relaţiile :

$$\lim_{r\to 0}\left\{\int_{-\infty}^{\omega_0-r}\frac{G_{ik}(\omega)}{\omega-\omega_0}\,d\omega+\int_{\omega_0+r}^{+\infty}\frac{G_{ik}(\omega)}{\omega-\omega_0}\,d\,\omega\right\}-i\,\pi\,G_{ik}(\omega_0)=0 \qquad (21)$$

Dar primii termeni din aceste relaţii sînt tocmai integralele luate pe intervalul $(-\infty, +\infty)$ în sensul valorilor principale. Deci din (21) se obţin relaţiile :

$$i\,\pi\,G_{ik}(\omega)=P\int_{-\infty}^{\infty}\frac{G_{ik}(\omega)}{\omega-\omega_0}\,d\omega \qquad (22)$$

Dacă se scrie $G_{ik}(\omega)=G'_{ik}(\omega)+iG_{ik}''(\omega)$ şi se notează $\omega_0=u$, un punct curent de pe axa reală, se obţin relaţiile :

$$G'_{ik}(u)=\frac{1}{\pi}\,P\int_{-\infty}^{\infty}\frac{G''_{ik}(\omega)}{\omega-u}\,d\,\omega$$

$$G''_{ik}(u)=-\frac{1}{\pi}\,P\int_{-\infty}^{\infty}\frac{G'_{ik}(\omega)}{\omega-u}\,d\omega \qquad (23)$$

numite relaţii Kramers-Kronig sau relaţii de dipersie. Ele dau o legătură între părţile reale $G'_{ik}(\omega)$ şi părţile imaginare $G''_{ik}(\omega)$ ale susceptibilităţilor generalizate. După cum se poate vedea din ipotezele folosite pentru demonstraţie, relaţiile de dispersie (23) sînt valabile numai pentru valori reale ale variabilei u.

Se poate demonstra [2] folosind de asemenea proprietăţile (12), (13), (15) şi (16) ale funcţiilor Green, $G_{ik}(\tau)$, că au loc relaţiile :

$$G_{ik}(iu)=\frac{2}{\pi}\int_0^{\infty}\frac{\omega\,G''_{ik}(\omega)}{\omega^2+u^2}\,d\omega \qquad (24)$$

care dau o legătură între valorile funcţiilor $G_{ik}(\omega)$ pe semiaxa imaginară superioară şi valorile părţilor imaginare $G''_{ik}(\omega)$ ale lor, pe axa reală.

Subliniem faptul că toate proprietăţile amintite ale susceptibilităţilor generalizate decurg din proprietăţile (12), (13), (15) şi (16) ale funcţiilor Green, $G_{ik}(\tau)$. Aceste proprietăţi, după cum am văzut, decurg din consideraţii fenomenologice şi în cadrul teoriei fenomenologice sînt acceptate ca axiome. Sarcina de a calcula funcţiile $G_{ik}(\tau)$ şi de a le demonstra proprietăţile amintite revine teoriilor statistice.

În cazul sistemelor macroscopice printre mărimile macroscopice accesibile măsurătorilor un interes deosebit îl prezintă energia absorbită de sistem de la cîmpul de forţe exterior. Ea este egală cu variaţia energiei interne a sistemului şi se scrie sub forma :

$$dQ=\sum_{i=1}^{n}F_i\,dA_i \qquad (25)$$

De obicei se calculează energia medie absorbită de sistem de la o forță monocromatică de forma $R_e(F_i(\omega)\, e^{-i\omega t})$ de frecvență $\omega/2\pi$. Energia medie absorbită într-o perioadă $T = 2\pi/\omega$ este atunci:

$$Q(\omega) = \frac{1}{T}\int_0^T \sum_{i=1}^{n} R_e(F_i(\omega)\, e^{-i\omega t})\, \mathrm{d}\,[R_e(A_i(\omega)\, e^{-i\omega t})] \tag{26}$$

Ținînd cont de (18) se găsește:

$$Q(\omega) = \frac{i\omega}{4}\sum_{i,k=1}^{n} (G_{ik}^*(\omega) - G_{ki}(\omega))\, F_i(\omega)\, F_k^*(\omega) \tag{27}$$

Deci energia absorbită de sistem poate fi exprimată în funcție de susceptibilitățile generalizate.

Ipoteza dependenței liniare a reacțiilor sistemului de forțe generalizate — implicată în cele expuse — este valabilă doar cînd intensitatea forțelor este suficient de mică. În cazul general, cînd intensitățile forțelor nu sînt mici, dacă se iau în considerare și dependențele neliniare, relațiile care dau reacțiile sistemului în funcție de forțe se pot scrie sub forma:

$$A_i(t) = \sum_{\alpha=1}^{\infty} \sum_{k_1, k_2, \ldots, k_\alpha=1}^{n} \int_{-\infty}^{+\infty} \mathrm{d}t_1 \int_{-\infty}^{\infty} \mathrm{d}t_2 \ldots \int_{-\infty}^{\infty} \mathrm{d}t_\alpha\, G_{i;\, k_1 k_2 \ldots k_\alpha}(t; t_1, t_2, \ldots, t_\alpha) \tag{28}$$

Funcțiile $G_{i;\, k_1 \ldots k_\alpha}(t; t_1, \ldots, t_\alpha)$ sînt funcțiile Green multitemporale. Și pentru ele se pot stabili anumite proprietăți plecînd de la considerațiile fenomenologice care ne-au condus la proprietățile (12), (13), (15), și (16) pentru funcțiile $G_{ik}(t, t')$.

Ca o ultimă remarcă menționăm că, dată fiind generalitatea ipotezelor folosite, teoria expusă este aplicabilă [5] atît sistemelor fizice statistice cît și circuitelor electronice. În ultimul caz rolul forțelor îl joacă semnalul de intrare (input), iar rolul reacțiilor semnalul de ieșire (output).

BIBLIOGRAFIE

1. — *Gaboș Z., Gherman O.*, „Termodinamică și Fizică statistică" Ed. Didactică și Pedagogică, București 1967.
2. — *Landau L., Lifșiț* E., „Physique Statistique", Ed. Mir, Moscou 1967.
3. — *De Groot S. R., Mazur P.*, „Non-Equillibrum Termodynamics", North Hol. Pub. Comp, Amsterdam 1962.
4. — *Landau L., Lifșiț E.*, „Electrodinamica mediilor continue" Ed. Tehnică, București 1968.
5. — *Stedman G. E.*, Contemp. Phys. 9, 49 1968.
6. — *Landau . D., Lifșiț E. M.*, „Teoria Cîmpului" Ed. Tehnică, București 1963.
7. — *Bremerman H.*, „Distributions Complex Variables and Fourier Transforms", Addisons Wesley, Pub. Co. Reading, Massachusetts, 1965.
8. — *Fain V. M., Hanin Ia. I.* „Kvantovaia Radiofizika" Izd. Sov. Radio, Moscova 1965.

ASUPRA METODELOR DE MĂSURĂ ÎN RADIOFRECVENȚĂ A FACTORULUI DE PIERDERI AL CONDENSATOARELOR

Asist. *DORINA TOMA*, Galați

Studiul pierderilor dielectrice se poate face prin cercetarea comportării unui condensator cu dielectric într-un circuit de curent alternativ. Calculul se simplifică dacă condensatorul real (cu pierderi dielectrice) se înlocuiește printr-un condensator ideal cu o rezistență conectată în serie sau în paralel.

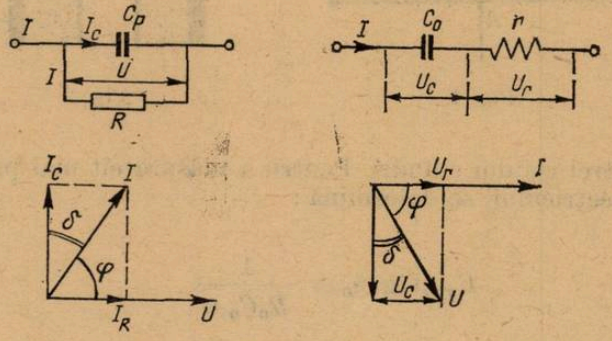


Fig. 0

Ambele scheme sînt echivalente, cînd impedanțele lor sînt egale. Această condiție este valabilă cînd unghiurile de defazaj φ și puterile active sînt egale. $\delta = 90 - \varphi$, reprezintă unghiul pierderilor dielectrice, care pentru valori mici ale sale poate fi înlocuit prin tg δ.

$$\operatorname{tg} \delta \approx \delta$$

Schema derivație :

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_R}{I_C} = \frac{1}{\omega C_p R}$$

Schema serie :

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{U_r}{U_c} = \omega C_r r$$

Pentru studiul factorului de pierderi, dielectricii solizi se prezintă în general sub formă de plachetă rotundă sau patrată, cu fețele plan paralele, avînd suprafața S și diametrul D (2 — 4 mm). Pentru a realiza un condensator, utilizînd această lamă ca dielectric, este suficient ca pe cele două fețe ale lamei să se dispună armăturile metalice. În practică se utilizează foi de cositor. Pentru a asigura o bună aderență, între placă și fețele metalice se interpune un strat de vaselină. Armăturile condensatorului mai pot fi realizate prin metalizarea pe cale chimică sau mecanică

a lamei de dielectric. În practică condensatorul de măsură este constituit ca în (fig. 1); inelul de gardă E are rolul de a obține un cîmp uniform. În cazul dielectricilor lichizi condensatorul este constituit din doi cilindri coaxiali A și B și un inel de gardă E (fig. 2). Lichidul de studiat este turnat

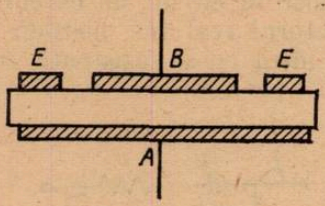


Fig. 1

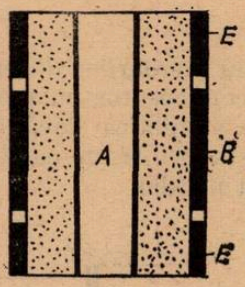


Fig. 2

în spațiul dintrei cei doi cilindri. Pentru a măsura cît mai precis valoarea lui tg δ a dielectricului, se determină:

1. $$C_0 \text{ și } \operatorname{tg} \delta_0 = \frac{1}{R_0 C_0 \omega} \tag{1}$$

unde R_0 este rezistența echivalentă paralelă a pierderilor din suporturile izolate, cînd condensatorul este cu aer.

2. $$\text{Capacitatea } C \text{ și } \operatorname{tg} \delta = \frac{1}{C\omega}\left(\frac{1}{R_0} + \frac{1}{R}\right) \tag{2}$$

unde R este rezistența echivalentă paralelă, corespunzătoare pierderilor din dielectricul lichid. Din (1) și (2) se deduce

$$\operatorname{tg} \delta_x = \frac{1}{RC\omega} = \operatorname{tg} \delta - \frac{1}{\varepsilon} \operatorname{tg} \delta_0. \tag{3}$$

Metodele de măsură a factorului de pierderi pot fi clasificate în funcție de frecvența de lucru:

1. Metode de măsură în joasă frecvență ($50 - 10^5$ Hz)

2. Metode de măsură în înaltă frecvență ($10^5 - 10^8$ Hz)

3. Metode de măsură în foarte înaltă frecvență — mai mare de 10^8 Hz.

Lucrarea își propune să prezinte metodele de măsură a factorului de pierderi a dielectricilor în înaltă frecvență. Întrucît metodele în punte în înaltă frecvență sînt mai puțin precise din cauza influențelor perturbatoare (capacități parazite, inductanțe), pentru măsurarea mai precisă a factorului de pierderi sînt folosite metodele de rezonanță.

1. Metoda variației rezistenței

Schema de principiu este dată în fig. 3 și constă în înlocuirea parametrilor $R_x C_x$ ai dielectricului cu valori cunoscute ale capacității C_0, și rezistenței R la rezonanță. Se realizează rezonanța avînd introduse în circuit succesiv capacitățile C_x și C_0. Contactul 0—1 introduce pe C_x

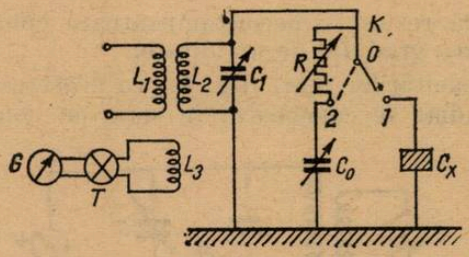


Fig. 3

în circuit. Se realizează rezonanța cu ajutorul condensatorului C_1. Se trece K în poziția 0—2 și variind pe C_0 se obține rezonanța. Se introduce rezistența R și se variază pînă se obține aceeași deviație ca în cazul 0—1. Se obține:

$$C_x = C_0 \text{ și } \operatorname{tg} \delta_x = \omega C_0 R \qquad (4)$$

2. Metoda variației reactanței

A. Cazul capacităților mici (fig. 4). Se conectează condensatorul de studiat, C_x, în paralel cu un condensator etalon și se determină va-

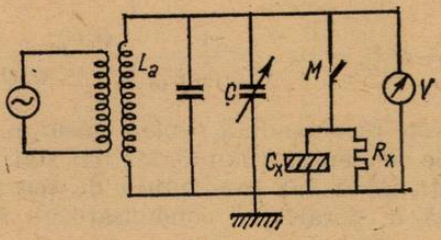


Fig. 4

loarea sa făcînd diferența dintre valorile capacității etalon care realizează rezonanța, înainte și după punerea lui în circuit. Metoda comportă 2 etape:

a. Întrerupătorul M este deschis, C_{01} fiind capacitatea de rezonanță, $L_a C_{01} \omega^2 = 1$. Factorul de calitate este:

$$1/Q_1 = R_a L_a \omega$$

b. Se introduce C_x (pe schemă apare și rezistența sa echivalentă R_x). La rezonanță:

$$L_a (C_{02} + C_x) \omega^2 = 1$$

deci :

$$\frac{1}{Q_2} = \frac{R_a}{L_a \omega} + \frac{L_a \omega}{R_x}$$

$$\operatorname{tg} \delta_x = \frac{1}{R_x C_x \omega} = \frac{C_{01}}{C_{01} - C_{02}} \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1 Q_2} \tag{5}$$

Această metodă dă rezultate necorespunzătoare cînd tensiunea variază şi odată cu creşterea gradului de umiditate.

B. Cazul capacităţilor mari (fig. 5). În acest caz condensatorul cu dielectricul de studiat se conectează în serie cu condensatorul variabil.

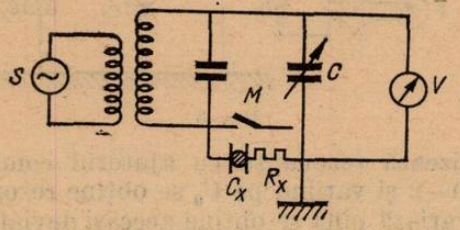


Fig. 5

C. Metoda de măsură este identică cu cea de la punctul A, adică se efectuează două măsurători : una cu condensatorul C_x introdus pe circuit, alta fără C_x.

În acest caz :

$$C_x = \frac{C_{01} C_{02}}{C_{02} - C_{01}}$$

şi

$$\operatorname{tg}\delta_x = R_x C_x \omega = \frac{1}{C_{02} - C_{10}} \frac{Q_1 C_{01} - Q_2 C_{02}}{Q_1 Q_2} \tag{6}$$

Această metodă nu este recomandată pentru măsurarea capacităţilor mari, mai ales dacă bornele condensatorului de studiat sînt situate la o distanţă mare una de alta. În acest caz conexiunea de scurtcircuit constituie o inductanţă conectată în paralel cu condensatorul, care poate constitui

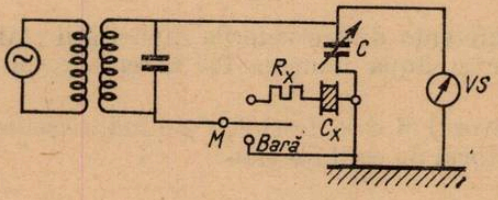


Fig. 6

un circuit oscilant. Pentru a elimina rezonanţa acestui circuit oscilant suplimentar, întrerupătorul M este înlocuit cu un inversor, care comută condensatorul necunoscut cu ajutorul unei bare metalice pusă la masă (fig. 6).

De asemenea este necesar să se cunoască inductanța internă a condensatorului. Pentru determinarea inductanței interne este suficient să se traseze curba:

$$\frac{1}{\Gamma} = f(\omega^2)$$

unde Γ este capacitatea aparentă:

$$\Gamma = \frac{C}{1 - lC\omega^2}$$

care este o dreaptă, care intersectează pe **oy** într-un punct a cărui ordonată ne dă pe C, iar pe **ox** în punctul care ne dă valoarea inductanței interne (l).

3. **Metoda variației frecvenței.**

Schema este dată în fig. 7.

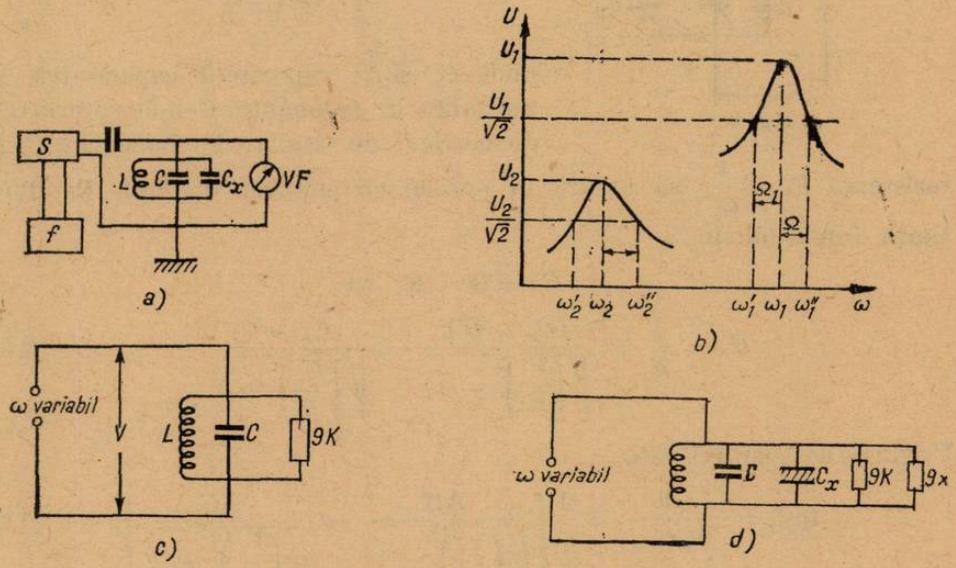


Fig. 7

Metoda se bazează pe obținerea rezonanței circuitului prin variația frecvenței, ce corespunde maximului de tensiune indicat de voltmetrul electronic. Presupunînd că rezonanța circuitului fără epruvetă se obține pentru o pulsație $\omega_1 = 2\pi f_1$, iar tensiunea este V_1, se dezacordează circuitul (variind frecvența), pînă cînd pentru ω_1', tensiunea va fi $\frac{V_1}{\sqrt{2}}$.

Variația pulsației este deci:

$$\Omega_1 = \omega_1' - \omega_1 \qquad (7)$$

Se procedează în mod analog cînd dielectricul de studiat este introdus pe circuit, obținînd pentru ω_2 și ω'_2, respectiv valorile tensiunilor V_2 și $\frac{V_2}{\sqrt{2}}$.

Din calcule se obține :

$$\operatorname{tg}\delta_x = \frac{2\omega_2 \Omega_1}{\omega_1^2 - \omega_2^2} \cdot \frac{V_1 - V_2}{V_2} \tag{8}$$

În această relație $2\Omega_1$, se numește bandă de trecere. Din avantajele metodei se poate aminti simplitatea schemei și eroare de măsură mică, care depinde în primul rînd de precizia determinării frecvenței și a benzii de trecere. Schema conține un singur condensator etalon a cărui capacitate rămîne constantă pe parcursul măsurătorii.

4. **Metoda variației conductanței.** Schema este dată în fig. 8 care cuprinde un generator de RF ce alimetează un circuit oscilant paralel. Valoarea conductanței circuitului este :

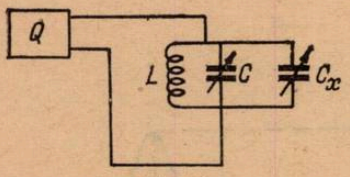


Fig. 9

$$G = \frac{\omega (C_r - C)}{\sqrt{\left(\frac{V_r}{V}\right)^2 - 1}} \tag{9}$$

unde C_r și V_r reprezintă capacitatea și tensiunea la rezonanță. Condensatorul cu dielectricul de studiat de capacitate C_x și rezistență $R_x = \frac{1}{G_x}$, se așează în paralel cu circuitul oscilant. Conductanța totală devine :

$$G' = G + G_x \quad \text{cu}$$

$$G_x = \frac{1}{R_x} = \frac{(C'_r - C')}{\sqrt{\left(\frac{V'_r}{V'}\right)^2 - 1}} - \frac{(C_r - C)}{\sqrt{\left(\frac{V_r}{V}\right)^2 - 1}} \tag{10}$$

Unghiul de pierderi este :

$$\operatorname{tg}\delta_x = \frac{1}{R_x C_x \omega} = \frac{1}{C_x}\left[\frac{\Delta C'}{\sqrt{\left(\frac{V'_r}{V'}\right)^2 - 1}} - \frac{\Delta C}{\sqrt{\left(\frac{V_r}{V}\right)^2 - 1}}\right] \tag{11}$$

cu $\Delta C' = C'_r - C'$ și $\Delta C = C_r - C$.
Pentru o mai mare precizie, se măsoară $\Delta C'$ și ΔC cu ajutorul unui condensator vernier, iar $\left(\frac{V_r}{V}\right)^2$ și $\left(\frac{V'_r}{V'}\right)^2$ cu un voltmetru pătratic.

Notăm :

$$\left(\frac{V_r}{V}\right)^2 = u \text{ și } \left(\frac{V'_r}{V'}\right)^2 = u', \text{ deci :}$$

$$\operatorname{tg}\delta_x = \frac{1}{C_x}\left[\frac{\Delta C'}{\sqrt{u' - 1}}\right] - \frac{\Delta C}{\sqrt{u - 1}}\right] \tag{12}$$

unde :

$$C_x = C'_r - C_r$$

Precizia cu care se cunosc cei 2 termeni ai parantezei poate fi sensibil mărită remarcînd că dacă se determină un mare număr de puncte pentru 2 curbe de rezonanţă, se obţin 2 drepte a căror pantă reprezintă cei 2 termeni ai parantezei.

$$\Delta C = f(\sqrt{u-1}) \quad \Delta C' = f(\sqrt{u'-1})$$

$$p = \frac{\Delta C}{\sqrt{u-1}} \text{ şi } p' = \frac{\Delta C'}{\sqrt{u'-1}} \tag{13}$$

Relaţia finală este :

$$\operatorname{tg}\delta_x = \frac{p' - p}{C_x} \tag{14}$$

Practic, se acordează circuitul la rezonanţă şi se variază ΔC, obţinîndu-se diferite valori pentru u ; se repetă procedeul cu dielectricul de studiat introdus pe circuit. După această metodă, măsura lui tgδ se reduce la determinarea pantelor unor drepte. Lipsa de liniaritate în succesiunea punctelor celor două drepte arată o eroare în determinarea respectivă.

5. Metoda variaţiei admitanţei

Schema de principiu a acestei metode este dată de figura 9.

$$y_x = G_x + j\,B_x$$

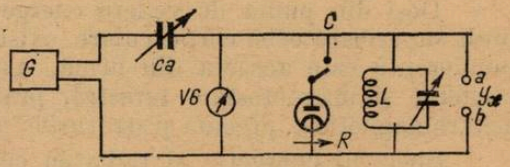


Fig. 9

G este un generator RF, C_a un condensator de legătură, C L circuitul oscilant. Avantajul acestei metode constă în obţinerea unei rezistenţe lipsite de reactanţă în înalta frecvenţă, cu ajutorul unei diode şi al unei rezistenţe de joasă frecvenţă. Rezistenţa echivalentă între **cd** este :

$$R_e = 2\,R \tag{15}$$

Măsurătoarea se face în 2 etape : se montează Y_x între punctele **ab**. Se obţine rezonanţa prin variaţia capacităţii de acord C şi se citeşte valoarea tensiunii indicate de voltmetrul electronic.

Se scoate dielectricul de studiat din circuit şi se variază C pînă se obţine rezonanţa :

$$B_x = \omega\,(C_1 - C_2) \tag{16}$$

Se conectează R pe circuit şi se variază pînă cînd voltmetrul indică aceeaşi valoare a tensiunii ca în prima etapă. Conductanţa necunoscută este $G_x = \frac{1}{R_e}$, cu R_e fiind rezistenţa echivalentă a diodei.

$$\operatorname{tg}\delta_x = \frac{1}{R_x C_x \omega}$$

$$\operatorname{tg}\delta_x = \frac{1}{R_e B_x} \tag{17}$$

BIBLIOGRAFIE

1. *N. P. Bogorodiţki — V. V. Pasîncov* Materiale folosite în radioelectronică. Editura tehnică, 1963.
2. *P. V. Borisoglebschi* Bazele fizice şi metodele pentru încercarea preventivă a izolatorilor, industriali Editura energetică, 1953.
3. *Fromy* Măsurători în radiotehnică Editura Dunod, 1960.
4. *Skanavi G. I.* Fizica dielektricov Gostehmeoretizdat, 1958.

RADIAŢIA COSMICĂ SOLARĂ

DRAGOŞ BLĂNARIU, Universitatea Iaşi

1. Se ştie că Soarele, emite în spaţiul înconjurător o mare cantitate de radiaţii electromagnetice şi corpusculare. Radiaţia electromagnetică a Soarelui acoperă un domeniu foarte larg de frecvenţe, de la raze X şi pînă la unde radio metrice; ea se propagă rectiliniu, cu viteza luminii şi acţionează asupra ionosferei şi straturilor înalte ale atmosferei. Radiaţia corpusculară a Soarelui constă din protoni şi electroni cu cele mai diferite energii şi, ca orice flux de particule încărcate, are o mare influenţă asupra cîmpului magnetic interplanetar şi terestru.

Deşi din punct de vedere energetic radiaţia electromagnetică este mult superioară celei corpusculare, există regiuni ale spaţiului în care preponderentă este aceasta din urmă. Astfel de regiuni sînt spaţiul interplanetar şi magnetosfera terestră, practic transparente pentru radiaţia electromagnetică, precum şi straturile înalte ale ionosferei.

Spectrul energetic al radiaţiei corpusculare a Soarelui este foarte întins; fluxul protonilor cu energia cea mai mică, de ordinul keV, constuie aşa numitul *vînt solar*, un curent permanent de plasmă cvazineutră care se propagă prin spaţiul interplanetar cu o viteză de 300—500 km/s. Existenţa vîntului solar în interiorul sistemului solar, ipotetică acum 10 ani, a fost pusă experimental în evidenţă cu ajutorul sateliţilor artificiali şi verificată amănunţit în ultimii ani. Vîntul solar este răspunzător de configuraţia spirală a cîmpului magnetic interplanetar şi de o serie întreagă de fenomene geofizice.

Cu ocazia marilor erupţii cromosferice viteza vîntului solar poate creşte pînă la aproximativ 1000 km/s şi odată cu norii de plasmă sînt emişi protoni cu energii foarte mari. Protonii cu energii de pînă la $\sim$500 MeV din acest flux de plasmă solară rapidă nu pot ajunge la suprafaţa Pămîntului din cauza cîmpului geomagnetic şi a absorbţiei în atmosferă. Ei îşi fac simţită însă prezenţa în ionosfera înaltă unde produc frecvente perturbaţii.

Protonii cu energie mai mare decît 500—600 MeV pot străpunge blindajul magnetic al Pămîntului şi, prin multiplicare în cascadă, particulele lor secundare sînt detectate la staţiile terestre de radiaţii cosmice. În astfel de cazuri înregistrările staţiilor prezintă creşteri tranzitorii, cu durate de 8—20 ore şi amplitudini care variază cu poziţia pe glob a staţiei. Prin analogie cu particulele care sosesc din spaţiul interstelar, acestea din urmă au fost denumite *radiaţii cosmice solare*.

Problemele legate de generarea unor radiații cosmice de către Soare și de propagarea acestora prin mediul interplanetar au căpătat în ultimul timp o mare importanță teoretică și practică. Ele permit rezolvarea problemei originii radiației cosmice în general (evaluarea rolului diferitelor stele ca generatoare și precizarea mecanismelor de accelerare), dau cheia multor procese care au loc în atmosfera Soarelui, în spațiul interplanetar și în vecinătatea Pămîntului și permit aprecierea pericolului posibil de iradiere a navelor cosmice cu oameni la bord.

2. Radiațiile cosmice sînt studiate pe Pămînt de la începutul acestui secol. Variațiile lor de intensitate sînt urmărite însă în mod permanent și sistematic din anul 1937 cînd, din inițiativa Institutului Carnegie din Washington, au fost puse în funcțiune 4 stații de radiații cosmice (la Godhaven-Groenlanda, Chaltenham-SUA, Huancayo-Peru și Christchurch-Noua Zelandă) și echipate de Compton și Bennet cu camere de ionizare identice. În anii următori la acestea s-au adăogat noi stații, în cele mai diferite puncte ale globului, posibilitățile experimentale s-au lărgit prin utilizarea telescoapelor de contori și, din 1953, a monitoarelor de neutroni, ceea ce a făcut ca în timpul Anului Geofizic Internațional (1957—58) să funcționeze peste 100 de stații de radiații cosmice într-o rețea mondială bine organizată.

Prima creștere de intensitate datorită radiației cosmice solare observată de stațiile terestre a avut loc după erupția cromosferică din 28 februarie 1942. În această zi la trei din stațiile Institutului Carnegie s-au înregistrat creșteri de 5—8%, care au durat timp de cîteva ore. La stația ecuatorială Huancayo nu s-a observat nici un efect. După numai o săptămînă, la 7 martie, stațiile au înregistrat o nouă creștere, cu aceleași caracteristici (fig. 1). De data aceasta erupția cromosferică n-a fost vizibilă, dar existența ei s-a manifestat printr-o puternică furtună geomagnetică și a dus la descoperirea de către *Hey* a radioemisiei Soarelui. Din figura 1 se mai vede că furtuna magnetică din 28 februarie a fost urmată la interval de cîteva ore de un pronunțat efect Forbush (vezi RFC—A, nr. 10, 1968).

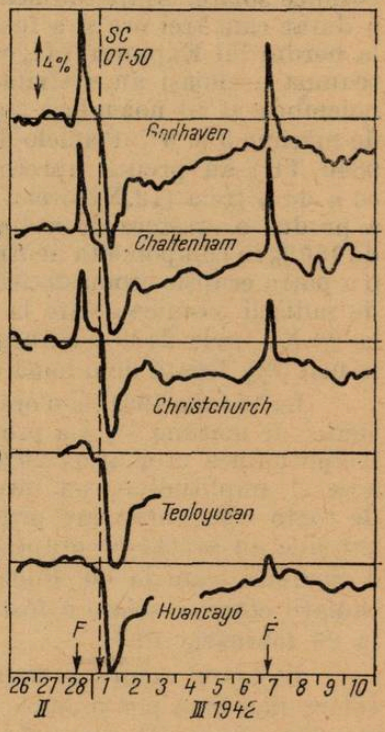


Fig. 1

La 25 martie 1946 s-a produs cea de a treia creștere de radiații cosmice solare, cauzată de o erupție cromosferică de importanță 3^+, care a început la 1620 TU (timp universal sau GMT) și a durat cam două ore. Creșterea de intensitate a radiației cosmice a început la numai 40 minute după începerea erupției optice și s-a observat la toate stațiile, cu excepția celor ecuatoriale. La Manchester amplitudinea efectului a atins 13% și a durat cam 9 ore.

Următorul eveniment s-a produs în urma erupției cromosferice din 19 noiembrie 1949. În această perioadă la stația Manchester funcționa

un detector de neutroni și un telescop subteran de mezoni. La cam 30 minute după observarea erupției optice, intensitatea neutronilor a început să crească vertiginos, a atins o valoare maximă de cam 550%, după care a revenit lent, în decurs de cam 12 ore, la valoarea normală. Intensitatea mezonilor înregistrați în subsol (la adîncimea de 60 m e.a.) n-a suferit nici un fel de variație.

Cea de a cincea creștere de radiații cosmice solare a avut loc la 23 februarie 1956 și a fost cea mai importantă dintre toate evenimentele înregistrate pînă în prezent. În ziua respectivă activitatea Soarelui a fost deosebit de ridicată și la ora 0331 TU s-a produs o erupție cromosferică de importanță 3^+, la maximul căreia intensitatea liniei $H\alpha$ a depășit cu 300% valoarea ei normală. Imediat după erupție s-a observat o creștere bruscă și importantă a radioemisiei Soarelui pe toate lungimile de undă recepționate, iar pe partea luminată a Pămîntului radiocomunicațiile pe unde scurte s-au întrerupt complet pentru mai multe ore. După cam o zi s-au declanșat mari perturbații geomagnetice. Creșterea de radiații cosmice a fost înregistrată la toate cele 40 stații deja pregătite în vederea desfășurării Anului Geofizic Internațional, inclusiv cele ecuatoriale. La stațiile de la latitudini ridicate amplitudinea creșterii a atins 4000% în componenta neutronică și cîteva sute de procente în componenta mezonică. Creșterea a durat cam 20 ore.

După patru ani, la 4 mai 1960, s-a produs o nouă creștere de radiații cosmice solare. Amplitudinea ei a atins 200% în componenta neutronică, a durat cam trei ore și a fost pusă în evidență și de aparatura instalată la bordul lui Explorer-VII, care se găsea la mare distanță de Pămînt. În toamna aceluiași an activitatea Soarelui a fost foarte ridicată; între 4 noiembrie și 18 noiembrie s-au observat mai multe erupții cromosferice de mărime 3 și 3^+. Primele două (la 10.XI ore 1000 TU și la 11.XI orele 0340 TU) au produs apreciabile furtuni magnetice și efecte Forbush; ce a de a treia (12.XI orele 1320 TU), observată optic timp de trei ore, a produs o creștere de radiații cosmice solare cu amplitudinea maximă de 150% în componenta neutronică. După trei zile, la 15.XI orele 0242 TU, o a patra erupție cromosferică de mărime 3^+ a dat naștere unei noi creșteri de radiații cosmice solare la fel de mare ca și cea anterioară. În sfîrșit, la 20.XI orele 2100 s-a înregistrat încă o creștere, de data aceasta de numai 5%, legată de o nouă erupție cromosferică.

La 18 iulie 1961, la o oră după observarea optică a unei erupții cromosferice de mărime 3^+, s-a produs o altă creștere de radiații cosmice solare. Amplitudinea ei a atins 20% la stațiile polare. Următoarea creștere, de aceeași amplitudine, s-a înregistrat la 28 ianuarie 1967 și s-a deosebit de toate cele anterioare prin lipsa unei erupții cromosferice importante. Studiile au arătat că erupția corespunzătoare s-a găsit pe partea opusă a Soarelui, cam la 60° dincolo de limbul vestic. Penultima creștere de radiații cosmice solare a fost observată la 18 noiembrie 1968, iar ultima la 25 februarie 1969.

În afara cazurilor enumerate mai sus, s-a dovedit că și erupțiile solare mai mici pot produce protoni energici, capabili să ajungă pînă la Pămînt. Creșterile corespunzătoare de intensitate sînt însă extrem de reduse, deseori perturbate de alte efecte și nu pot fi puse în evidență decît prin metode statistice speciale de prelucrare a datelor (metoda lui Cherre de superpoziție a epocilor).

Protonii solari cu energie mai mică decît 500—600 MeV nu pot fi detectaţi la staţiile terestre. Astfel de particule moi pot ajunge în ionosferă doar în regiunea calotelor polare şi acolo provoacă o ionizare suplimentară şi tranzitorie a straturilor D, E şi uneori chiar F_2. Ca urmare a acestei ionizări sporite, are loc o creştere temporară a absorbţiei radioparaziţilor cosmici. Efectul este cunoscut sub numele de PCA („polar cap absorbtion") şi este înregistrat de instalaţii radiotehnice speciale denumite riometre. Măsurătorile efectuate în decursul anilor au arătat că fenomenele PCA se datoresc protonilor solari cu energia de 10—30 MeV şi că ele apar la cîteva minute după începerea erupţiei optice. Efectele cele mai importante se datoresc erupţiilor vestice şi sînt întotdeauna însoţite de intense radioemisii solare de tipul IV (cu spectru continuu şi de durată). Frecvenţa producerii fenomenelor PCA este mult mai mare decît cea a creşterilor de radiaţii cosmice solare. După datele lui Swestka, în perioada 1938—1955 s-au produs 47 cazuri; frecvenţa lor variază cu ciclul solar astfel că la minimul din 1964 s-a înregistrat un singur caz pe an, iar în 1967 — 9 cazuri.

3. Principalele caracteristici ale creşterilor de radiaţii cosmice solare care s-au observat pe Pămînt cu începere din anul 1942 sînt trecute în tabelul I, iar în fig. 2 se prezintă frecvenţa apariţiei creşterilor în funcţie

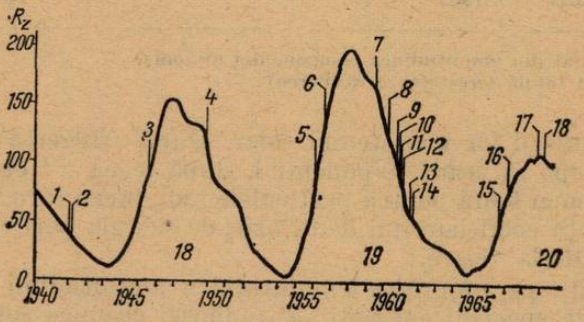


Fig. 2

de nivelul activităţii solare. Din aceste date se pot pune în evidenţă două importante particularităţi ale fenomenului: dependenţa de poziţia pe Soare a erupţiei şi dependenţa de nivelul activităţii solare. Din tabelul I se observă că majoritatea creşterilor de radiaţii cosmice solare se datoresc erupţiilor produse în emisfera vestică a discului solar. În ceea ce priveşte dependenţa de nivelul activităţii solare, din fig. 2 se vede că evenimentele apar pe ramurile ascendentă şi descendentă a ciclului solar cu predilecţie, excepţie de la această regulă făcînd-o doar ultimele două cazuri din actualul ciclu solar 20.

Studiul amănunţit al evenimentelor observate pînă în prezent a arătat că alura în timp a creşterii depinde de durata emisiei de protoni solari din timpul erupţiei cromosferice, precum şi de structura şi intensitatea cîmpului magnetic interplanetar. Radiaţia cosmică începe să crească la scurt timp după observarea optică a erupţiei solare şi în faza iniţială a creşterii prezintă o pronunţată asimetrie: radiaţiile nu vin cu intensitate constantă din toate direcţiile, ci preferă un con de direcţii vestice faţă de linia Pămînt-Soare. În momentele următoare anizotropia se reduce treptat datorită difuziei particulelor pe neomogenităţile cîmpului mag-

Tabelul I

Nr.	Data evenimentului.	Erupția cromosferică		Creșterea la sol în componenta neutronică	
		Poziția	Imp.	Amplitudinea (%)	Durata **) (min)
1	28.II. 1942	07N 04E	3	100*)	80
2	7.III	07N 90V	—	100*)	70
3	25.VII 1946	22N 15E	3	1200*)	160
4	19.XI 1949	02S 70V	3	600*)	30
5	23.II 1956	20N 74V	3	4000	26
6	31.VIII	15N 15E	3	3	?
7	16.VII 1959	16N 30V	3+	5	250
8	4.V. 1960	12N 82V	3	200	25
9	3.IX	18N 90E	3	4	400
10	12.XI	28N 01V	3+	140	175
11	15.XI	26N 33V	3+	120	43
12	20.XI	25N 113V	?	5	110
13	18.VII 1961	05S 60V	3+	17	126
14	20.VII	06S 89V	3+	6	60
15	7.VII 1966	18N 46V	2B	2	90
16	28.I 1967	? 150V	?	20	210
17	18.XI 1968	20N 90V	1B	15	29
18	25.II 1969			16	150

*) Recalculat din amplitudinea componentei mezonice.
**) Durata totală (creșterea + scăderea)

netic și acumulării lor în sistemul solar. După atingerea maximului, intensitatea începe să scadă exponențial, după legea t^{-s} cu $s = 1{,}0 \div 2{,}5$. Scăderea este mai lentă pentru particulele moi, lucru care se poate explica prin dependența coeficientului de difuzie, de energia particulelor și de distanța radială de la Soare.

Distribuța pe suprafața Pămîntului a amplitudinii creșterilor este determinată de spectrul energetic al radiației cosmice solare și de influența cîmpului geomagnetic. După cum a arătat *Firor*, traiectoriile particulelor solare cu energie cuprinsă între 30 MeV și 10 GeV se grupează, datorită devierii lor în cîmpul geomagnetic și formează două *zone de impact*, concentrate în jurul orelor 0400 și 0900 TL (timp local) și o *zonă de fond* care cuprinde întreg intervalul de latitudini dintre 28° și 78° în ambele emisfere. Această situație se referă la intensitatea observată în vîrful atmosferei; dacă se ține cont de transformările pe care radiațiile le suferă la trecerea prin atmosferă și la unele proprietăți ale aparaturii de înregistrare, atunci distribuția reală a amplitudinii creșterilor la suprafața Pămîntului este mult mai complicată.

Radiația cosmică solară este o radiație suplimentară, care se adaugă în impulsuri de scurtă durată la radiația cosmică galactică. Dacă în anumite privințe aceste două tipuri de radiații cosmice sînt similare, ele diferă radical prin spectrul lor energetic. Radiația cosmică galactică prezintă un spectru după energie în care intensitatea scade exponențial cu energia, exponentul avînd o valoarea apropiată de 2,5. Pentru radiația cosmică solară exponentul distribuției respective este cam de trei ori mai mare, ceea ce înseamnă că fluxul lor este mult mai bogat în particule moi decît fluxul radiației cosmice galactice.

4. În vederea înțelegerii modului în care se propagă radiația cosmică solară spre Pămînt, sînt necesare cîteva date asupra structurii și intensității cîmpului magnetic interplanetar. În modelul vîntului solar dezvoltat de *Parker*, cîmpul magnetic interplanetar este cvaziregulat și liniile lui de forță au, datorită rotației proprii a Soarelui, forma unor spirale Arhimede. Această structură spirală, pentru care înclinarea liniilor de forță la nivelul orbitei terestre poate atinge 50° vest de linia Pămînt-Soare, a fost confirmată de măsurătorile magnetometrice efectuate în spațiul cosmic cu ajutorul sateliților. În același timp s-a găsit că pe fondul cîmpului cvaziregulat, a cărui intensitate medie este de 3.10^{-4} Oe, există numeroase neomogenități cu dimensiuni caracteristice de cam $3 \cdot 10^{11}$ cm. Datele obținute de *Ness* în anii 1963—64 cu satelitul IMP-4 au pus în evidență o structură *sectorială* a cîmpului magnetic interplanetar de tipul arătat în fig. 3 : în două sectoare cîmpul magnetic este orientat

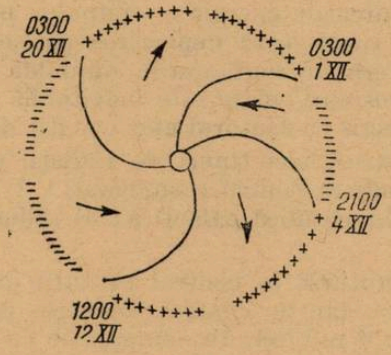


Fig. 3

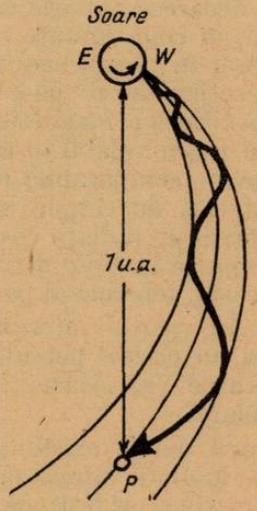


Fig. 4

către Soare, în celelalte două dinspre Soare. O astfel de structură cu 4 sectoare s-a menținut pînă la sfîrșitul anului 1964 ; din 1965, odată cu începerea ciclului solar 20, sectoarele au devenit mai puțin delimitate și întreaga situație s-a complicat. De la jumătatea anului 1966 au apărut două sectoare distincte și această structură bisectorială se păstrează și în prezent.

Pe baza studierii creșterilor de radiații cosmice solare, în special a celor detectate în spațiul cosmic cu ajutorul detectorului direcțional de pe Pioneer 6 și 7, *Mc Cracken* și colab. au arătat că direcțiile de propagare ale particulelor solare moi corelează foarte bine cu direcția cîmpului magnetic interplanetar. Autorii de mai sus au și dezvoltat un model teoretic în care particulele sînt colimate în interiorul unor tuburi magnetice și se deplasează de-a lungul liniilor de forță. Dacă în momentul erupției cromosferice liniile de forță leagă regiunea respectivă cu Pămîntul (fig. 4), atunci radiațiile cosmice solare pot ajunge în vecinătatea Pămîntului și ele vor fi detectate în anumite zone de impact bine definite.

Aşa dar, propagarea particulelor emise de Soare este controlată de cîmpul magnetic interplanetar, atît de componenta lui regulată, cît şi de cea neregulată. Rolul relativ al acestor două componente depinde, evident, de energia particulelor, dar şi de proprietăţile electromagnetice ale mediului interplanetar. Pentru difuzia particulelor solare, de pildă, elementele cele mai eficace sînt neomogenităţile magnetice de dimensiuni egale cu raza Larmor a particulelor în cîmp magnetic. Aceasta arată că studierea radiaţiei cosmice solare permite obţinerea unor informaţii foarte preţioase asupra structurii cîmpului magnetic interplanetar şi variaţiilor lui în timp şi spaţiu şi permite verificarea practică a diferitelor modele propuse în cursul anilor de *Parker*, *Dorman*, *Axford*, *Burlaga*.

Fără a intra în amănunte, vom aminti că în modelul de difuzie izotropă tridimensională al lui Parker, mişcarea radiaţiei cosmice este asemănată cu difuzia moleculelor unui gaz, definindu-se o viteză medie v şi un parcurs liber mijlociu λ. Asemănarea ar părea infirmată la prima vedere, deoarece radiaţia cosmică trebuie să se deplaseze în lungul liniilor de forţă, în conformitate cu cerinţele conservării invariantului adiabatic. Dacă însă, în cadrul acestei reprezentări, ţinem cont de mişcarea de derivă a particulelor de pe o linie de forţă pe alta, derivă datorată existenţei neomogenităţilor magnetice, modelul poate da rezultate fructuoase. El este mai puţin valabil în cazul cînd densitatea de energie a radiaţiei cosmice devine comparabilă cu densitatea de energie a cîmpului magnetic. În acest caz, nu cîmpul magnetic controlează deplasarea particulelor ci însăşi fluxul de radiaţii cosmice determină configuraţia cîmpului. Oricum, o izotropizare în timp a radiaţiei cosmice solare este inevitabilă şi, chiar prin aceasta, fenomenul poate fi descris cu ajutorul unei ecuaţii de difuzie

5. În spaţiul interplanetar există trei tipuri de radiaţii care pot prezenta un pericol potenţial de iradiere pentru cosmonauţi: 1) radiaţia din centurile Van Allen; 2) radiaţia cosmică galactică; 3) radiaţia cosmică solară.

După datele existente în literatură, în centrul centurii exterioare doza de iradiere atinge 0,1 rad/oră, iar în centrul centurii interioare (deasupra ecuatorului) poate atinge 6 rad/oră. În comparaţie cu acestea, radiaţia cosmică galactică din spaţiul cosmic produce o doză medie de iradiere de numai 0,57 mrad/oră (~5 rad/an). Pentru erupţiile de radiaţii cosmice solare însă dozele de iradiere pot atinge valori deosebit de mari (200 rad/oră pentru cazul erupţiei din 12.XI.1960). Din acest motiv, pentru zborurile cosmice către Lună şi celelalte planete doar radiaţia cosmică solară prezintă un pericol real de iradiere.

Îndepărtarea acestui pericol se realizează fie prin blindarea corespunzătoare a navei cosmice, fie prin alegerea unor perioade de zbor favorabile, determinate pe baza datelor privind activitatea solară. În acest sens se încearcă adevărate prognoze asupra momentelor de producere pe Soare a erupţiilor de importanţă mai mare ca 2. Apariţia unei erupţii solare de un anumit tip este un eveniment aleatoriu, probabilitatea căruia depinde atît de frecvenţa erupţiilor de tipul dat, cît şi de durata zborului şi poate fi calculată cu formula lui Poisson (evenimentele fiind considerate statistic independente). În legătură cu aceasta *Waddington* a produs împărţirea erupţiilor solare protonice (în care sînt generaţi protoni relativişti) în două categorii — A şi B — în funcţie de spectrul lor energetic. Erupţiile de tipul A sînt caracterizate printr-un spectru de tipul E^{-4} în intervalul $E = 30 \div 400$ MeV şi creşterile de radiaţii cosmice solare pe

care le produc nu sînt observate decît în ionosferă şi în spaţiul cosmic. Frecvenţa acestor erupţii este de cam 0,03/zi. Erupţiile de tipul B sînt caracterizate printr-un spectru energetic de forma E^{-6} şi protonii solari sînt înregistraţi şi la suprafaţa Pămîntului. Astfel de evenimente sînt mult mai rare, frecvenţa apariţiei lor fiind apreciată la cam 0,0011/zi (una la 2,5 ani). Valorile date se referă la perioadele de activitate solară maximă; pentru celelalte perioade de timp datele reprezintă o limită superioară.

Deşi în literatura de specialitate există numeroase calcule a dozelor de iradiere în spaţiul cosmic, datele de care dispunem în prezent asupra radiaţiei cosmice solare (frecvenţa apariţiei lor, spectrul energetic, compoziţie izotopică etc.) sînt încă insuficiente pentru o evaluarea precisă a riscului de iradiere a cosmonauţilor la zboruri îndelungate. În această direcţie sînt necesare noi cercetări şi elaborarea unor metode mai exacte de prognoză a evenimentelor solare pe termen lung.

DISPOZITIV PENTRU STUDIUL POLARIZĂRII LUMINII
prin reflexie şi transmisie

GH. BENDESCU şi *GH. SINGUREL*, Iaşi

Polarizarea luminii reflectate şi transmise (refractate) reprezintă una din problemele rezolvate cu deosebit succes de teoria propagării undelor electromagnetice, teorie prezentată în toate lucrările de optică (de ex. [1,2]). Problema de asemenea este prezentată clar şi concis în [3,4].

Studiul teoretic al formulelor lui Fresnel, formule ce reprezintă evaluarea cantitativă a intensităţii luminii polarizate prin reflexie şi refracţie, precum şi analiza fenomenelor ce sînt explicate de aceste formule, este util să fie complectat cu lucrări de laborator corespunzătoare. În multe manuale este prezentată analiza calitativă a fenomenului cu ajutorul dispozitivului lui Nőrenberg, dispozitiv ce se utilizează de multe ori şi pentru efectuarea lucrărilor practice cu această temă în laboratoarele de optică. Pentru a da studenţilor posibilitatea efectuării unui studiu cantitativ al fenomenelor şi comparării datelor experimentale cu cele indicate de teorie, noi am construit un dispozitiv cu ajutorul căruia se poate determina intensitatea luminii polarizate prin reflexie şi transmisie în funcţie de unghiul de incidenţă şi de poziţia planului de polarizare.

Descrierea dispozitivului. Aspectul general al aparatului şi schiţa de principiu sînt prezentate în fig. 1 şi 2. Dispozitivul este constituit din colimatorul (1), fixat pe braţul-suport metalic (2), care are posibilitatea să se rotească de la 0° la 90° în jurul axului (3), şi receptorul de radiaţii (4), aşezat pe alt braţ metalic (5), care se roteşte de la 0° la 180° în jurul aceluiaşi ax (3). Unghiurile de rotire se citesc pe discul gradat (6). Ca sursă de lumină se utilizează un bec cu incandescenţă de 12 V, 50 W al cărui filament este aşezat în focarul unei lentile cu distanţa focală $f = 10$ cm.

Fasciculul paralel de lumină cade pe obiectul de studiu (7), care poate fi una sau mai multe plăci de sticlă (top). Este de dorit ca plăcile

de sticlă să fie de calitate cît mai bună, adică să prezinte o suprafaţă uniformă şi fără sgîrîieturi. În acest scop pot fi utilizate suporturile de sticlă ale plăcilor spectrale. Placa de sticlă este aşezată în aşa fel încît suprafaţa ei conţine axa de rotaţie (3), asigurîndu-se în acest fel incidenţa fasciculului reflectat pe receptorul (4), iar normala la această suprafaţă trece prin diviziunea zero a discului gradat (6).

Intensitatea luminii reflectate se măsoară cu ajutorul fotocelulei (4), care se află introdusă într-o incintă, în care lumina reflectată pătrunde

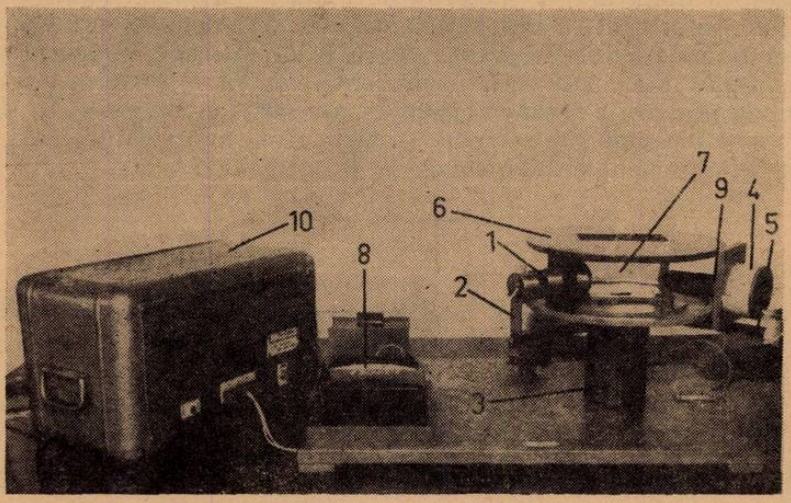


Fig. 1

printr-un tub din material plastic. Acesta are rolul de a evita, pe cît posibil, pătrunderea în fotocelulă a luminii difuzate de diferite părţi ale aparatului. Fotocelula este alimentată de la un redresor stabilizat (10). Intensitatea curentului electric ce apare în circuitul fotocelulei, proporţională cu fluxul luminos (Φ) ce cade pe stratul sensibil al acesteia, se mă-

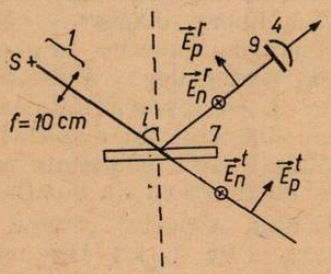


Fig. 2

soară cu ajutorul unui microampermetru (8) cu sensibilitatea de $0{,}5 \cdot 10^{-6}$ A/div., iar rezultatele sînt obţinute în unităţi relative. În loc de fotocelulă se poate utiliza un fotoelement cu seleniu, care are avantajul că nu mai necesită pentru alimentare o sursă de curent continuu.

Starea de polarizare a luminii reflectate se determină cu ajutorul analizorului (9). În acest dispozitiv drept analizor este utilizat un polaroid [5], care se găseşte în comerţ sub denumirea de „filtru de polarizare"

și este utilizat, în unele cazuri, la fotografiere. Polaroidul este așezat direct în fața fotocelulei, perpendicular pe axa optică a dispozitivului. Pentru a putea analiza starea de polarizare a luminii, s-a creat posibilitatea rotirii polaroidului în domeniul de la 0° la 90°.

Intensitatea luminii transmise, precum și starea ei de polarizare, se determină cu același ansamblu polaroid—receptor după ce acesta, prin rotirea brațului-suport (5), este adus în partea opusă sursei de lumină.

Modul de lucru. Pentru verificarea experimentală a formulelor lui Fresnel trebuie să se determine intensitatea luminii reflectate și respectiv transmise, al cărei vector electric oscilează în planul de incidență și într-un plan perpendicular pe acesta. Stabilirea acestor plane se face în modul următor : Poziția colimatorului se fixează în așa fel încît unghiul de incidență pe placa de sticlă să corespundă unghiului Brewster, apoi prin rotirea brațului-suport (3) se caută să se aducă receptorul pe direcția fasciculului reflectat. Aceasta se va realiza atunci cînd aparatul de măsură va indica o deviație maximă. Păstrînd această poziție, se rotește polaroidul pînă ce se obține din nou indicația maximă a aparatului de măsură. În acest caz se înregistrează lumina polarizată al cărei vector electric oscilează perpendicular la planul de incidență ($\vec{E}_n^r$), iar indicației minime îi corespunde lumina polarizată al cărei vector electric oscilează în planul de incidență ($\vec{E}_p^r$).

După stabilirea planurilor de polarizare se trece la studiul variației intensității componentelor $\vec{E}_p^r$ și $\vec{E}_n^r$ ale luminii reflectate, în funcție de unghiul de incidență. Pentru aceasta, se fixează poziția polaroidului față de planul de incidență (adică axa optică a polaroidului perpendiculară sau paralelă cu planul de incidență [5]) și se fac determinări după modul descris mai sus (găsirea indicației maxime a aparatului de măsură) pentru diferite unghiuri de incidență. Rezultatele obținute se trece într-un grafic unde se reprezintă indicațiile aparatului de măsură în funcție de unghiul de incidență ($i°$), pentru cele două stări de polarizare. În fig. 3 este reprezentată această dependență în cazul cînd obiectul de studiu îl reprezintă o singură placă de sticlă. (În acest caz receptorul de radiații înregistrează atît lumina reflectată de prima suprafață, cît și cea reflectată de a doua suprafață).

Apoi brațul (5) purtător al receptorului de radiții se rotește în partea opusă sursei de lumină, pentru a înregistra intensitatea luminii transmise, corespunzătoare celor două stări de polarizare. Ca și mai înainte, se fixează poziția polaroidului față de planul de incidență, se variază unghiul de incidență, iar receptorul se deplasează pentru a primi fasciculul transmis, ceea ce se stabilește după indicația maximă a aparatului de măsură. Pentru a fi cît mai ilustrative este de dorit ca rezultatele să fie reprezentate pe același grafic cu rezultatele obținute în lumină reflectată ($\vec{E}_p^t$ și $\vec{E}_n^t$). Se observă că dacă adunăm intensitățile aceleiași componente în lumină transmisă, respectiv reflectată, pentru diferite unghiuri de incidență, se obțin intensitățile emise de sursa de lumină (E_p^s respectiv E_n^s), care trebuie să fie independente de unghiul de incidență și egale între ele. Intensitatea totală calculată trebuie să fie egală cu intensitatea măsurată de receptor direct, în lipsa plăcii reflectante de sticlă.

Pe baza datelor reprezentate în graficele de mai sus se poate calcula gradul de polarizare a luminii prin reflexie şi transmisie (în cazul reflexiei rezultatele sînt date în fig. 4), unde gradul de polarizare ρ_r este determinat conform relaţiei [5]:

$$\rho_r = \frac{(\vec{E}_n^r)^2 - (\vec{E}_p^r)^2}{(\vec{E}_n^r)^2 + (\vec{E}_p^r)^2}$$

În lumină transmisă, pentru o singură placă de sticlă, gradul de polarizare ρ_t are o valoare mică (pentru $i = 60°$, $\rho_t = 0{,}12$).

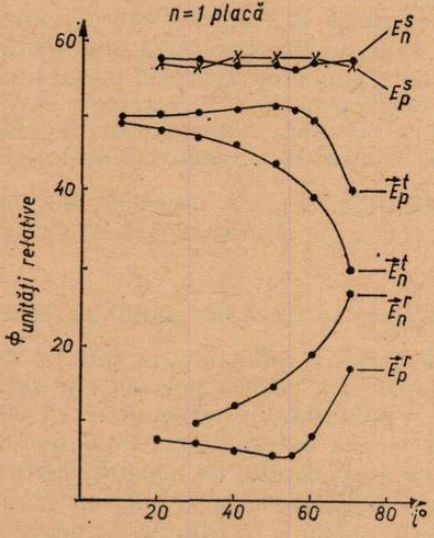


Fig. 3

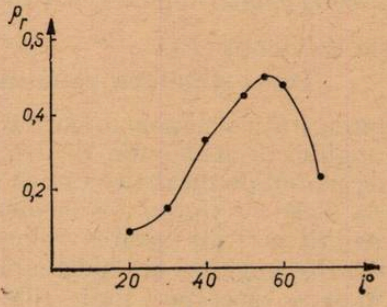


Fig. 4

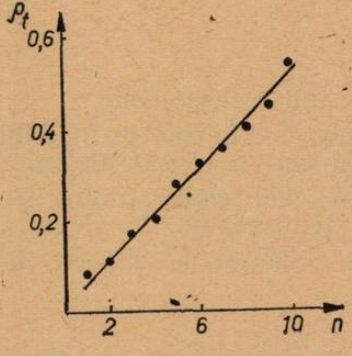
Cu ajutorul acestui dispozitiv, se poate urmări creşterea gradului de polarizare a luminii transmise, la adăugarea mai multor plăci de sticlă, adică la formarea unui top. Pentru aceasta, cel mai indicat, este să se fixeze poziţia colimatorului la unghiul de incidenţă Brewster. Se măsoară intensitatea luminii transmise, polarizată în planul de incidenţă şi perpendicular la acest plan, pentru un număr diferit de plăci de sticlă. Gradul de polarizare se calculează după relaţia [5]:

$$\rho_t = \frac{(\vec{E}_p^t)^2 - (\vec{E}_n^t)^2}{(\vec{E}_p^t)^2 + (\vec{E}_n^t)^2}$$

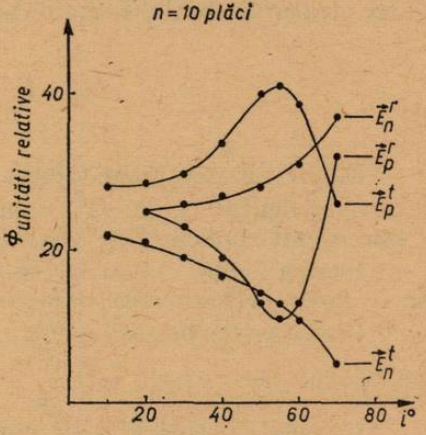
Graficul dependenţei gradului de polarizare al luminii transmise în funcţie de numărul plăcilor blocului (n) este prezentat în fig. 5, iar în fig. 6 este ilustrată dependenţa componentelor $\vec{E}_p^r$, $\vec{E}_n^r$, $\vec{E}_p^t$, şi $\vec{E}_n^t$ în cazul cînd se utilizează un top format din 10 plăci de sticlă. Dacă se calculează ρ_r se constată că valoaloarea lui nu s-a modificat mult faţă de cea obţinută în cazul utilizării unei singure plăci de sticlă. Însă, gradul de polari-

zare al luminii transmise, aşa cum indică şi teoria, atinge valori mult mai mari în acest caz (pentru $i = 60°$, $\rho_t = 0{,}54$), faţă de cazul unei singure plăci de sticlă.

După cum rezultă din fig. 3, dependenţa de unghiul de incidenţă a intensităţii luminii polarizate prin reflexie şi transmisie, obţinută cu ajutorul dispozitivului descris mai sus, reflectă suficient de bine aceeaşi



5



6

dependenţă exprimată de formulele lui Fresnel. Intensitatea componentei reflectate $\vec{E}_p^r$, prezintă un minim în domeniul $50° \div 60°$, domeniu în care se află unghiul Brewster la sticlă (tg $i = n$, adică $i = 56°$). Faptul că, aşa cum prevede teoria, acest minim nu are valoarea zero, se datoreşte imperfecţiunilor dispozitivului.

Dispozitivul a fost realizat în Atelierul Didactic al Universităţii „Al. I. Cuza" — Iaşi şi este utilizat de mai mulţi ani de către studenţii fizicieni în laboratorul de optică al facultăţii de fizică.

BIBLIOGRAFIE

1. *M. Born, E. Wolf*, Principles of Optics, Pergamon Press, London, (1964)
2. *G. Bruhat*, Cours de Physique Générale (Optique), 1965)), pg. 380.
3. *N. Bărbulescu*, RFC(A), *3*, 361, (1966)
4. *G. Ionescu, D. Iordache*, RFC(A), *5*, 378, (1969)
5. *C. Mihul*, Curs de Fizică Generală (Optică) vol. II, Iaşi (1956), pg. 459—483.

METODE PENTRU DETERMINAREA VÎSCOZITĂŢII LICHIDELOR

Asistent *STANA RUSENESCU*, Bucureşti.

Experienţa arată că în cazul curgerii unui fluid apare o frecare interioară între diferitele straturi de fluid şi datorită ei o parte din energia fluidului care curge, se transformă în căldură. Fenomenul frecării interne într-un fluid se numeşte vîscozitate.

Între două straturi de fluid real care se deplasează unul față de altul se exercită forțe tangențiale care se opun la alunecarea relativă a celor două straturi, aceste forțe sînt analoage cu forțele de frecare dintre corpurile solide.

Cînd cele două straturi vecine de fluid care se deplasează (paralel cu orizontala) cu viteza relativă dv, unul față de celălalt, au o arie de contact A și se găsesc la distanța dn unul față de altul, forța de frecare dintre straturile de fluid este dată de relația lui Newton :

$$F = \eta \frac{dv}{dn} A \qquad (1)$$

Fluidele care satisfac relația (1) se numesc fluide newtoniene.

Coeficientul η, din (1), depinde de natura și temperatura fluidului și este numit coeficient de vîscozitate dinamică sau vîscozitate dinamică.

Pentru lichide, vîscozitatea dinamică scade cînd temperatura crește, iar la gaze vîscozitatea dinamică crește cu temperatura.

Unitatea de măsură pentru vîscozitatea dinamică în sistemul internațional de unități este $\frac{N \cdot s}{m^2}$.

Inversul vîscozității dinamice se numește fluiditate și se notează cu φ.

$$\varphi = \frac{1}{\eta}$$

Vîscozitatea cinematică, ν, este mărimea măsurată prin raportul dintre vîscozitatea dinamică a fluidului și densitatea lui, la aceeași temperatură.

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

Vîscozitatea cinematică se măsoară în SI în $\frac{m^2}{s}$.

Observație. Ultimele propuneri (1961) ale Organizației Internaționale de Standardizare (I S O) recomandă termenii : „vîscozitate" în loc de „vîscozitate dinamică" și „raport vîscozitate-densitate" în loc de „vîscozitate cinematică".

Vîscozitatea dinamică și vîscozitatea cinematică se utilizează pentru a caracteriza lichidele pure, unitare sau amestecurile omogene.

În practică se folosesc și următoarele mărimi derivate pentru a caracteriza soluțiile. Vîscozitatea relativă este mărimea care exprimă măsura în care variază vîscozitatea dinamică a soluției față de vîscozitatea dinamică a dizolvantului. Vîscozitatea relativă se exprimă cantitativ astfel :

$$\eta_r = \frac{\eta_{sol}}{\eta_{diz}}$$

Vîscozitatea specifică este mărimea care reprezintă creşterea vîscozităţii determinată de dizolvat, într-un dizolvant anumit, în raport cu vîscozitatea dizolvantului :

$$\eta_{sp} = \frac{\eta_{sol} - \eta_{diz}}{\eta_{diz}} = \eta_r - 1$$

Vîscozitatea redusă este mărimea definită prin raportul dintre vîscozitatea specifică şi concentraţia soluţiei :

$$\eta_{red} = \frac{\eta_{sp}}{C} = \frac{1}{C}(\eta_r - 1) = \frac{1}{C}\left(\frac{\eta_{sol}}{\eta_{diz}} - 1\right)$$

Drept mărime caracteristică pentru soluţiile de polimeri se mai utilizează şi mărimea numită vîscozitatea intrinsecă.

Vîscozitatea intrinsecă, $[\eta]$, se defineşte ca limita raportului dintre vîscozitatea specifică şi concentraţia soluţiei, pentru concentraţia soluţiei tinzînd la zero :

$$[\eta] = \lim_{c \to 0} \frac{\eta_{sp}}{C}$$

sau :

$$[\eta] = \operatorname{ilm}_{c \to 0} \eta_{red}$$

Dispozitivele folosite pentru determinarea vîscozităţii se numesc vîscozimetre. Vîscozimetrele se clasifică după criterii ca : principiul de funcţionare, mărimea măsurată, precizia măsurătorilor etc.

Determinarea vîscozităţii lichidelor prin metoda curgerii printr-un tub capilar. Vîscozimetrul Ostwald.

Introducere teoretică. La curgerea foarte înceată a fluidelor prin tuburi capilare, practic vîscozitatea nu este influenţată de căldura produsă de frecarea internă. În aceste condiţii este valabilă legea lui Hagen — Poiseuille, care stă la baza calculului dimensiunilor vîscozimetrelor cu tuburi capilare şi la baza determinării vîscozităţii fluidelor cu astfel de vîscozimetre.

Legea lui Hagen — Poiseuille (2), pentru curgerea laminară a fluidelor reale, stabileşte legătura între volumul de fluid scurs în unitatea de timp $\left(\frac{V}{t}\right)$ printr-un tub capilar şi diferenţa de presiune ($p = p_2 - p_1$) de la capetele capilarului prin care curge fluidul, raza (r) şi lungimea (l) a tubului capilar, vîscozitatea dinamică a fluidului (η) :

$$\frac{V}{t} = \frac{\pi p r^4}{8 \eta l} \qquad (2)$$

Din legea lui Hagen — Poiseuille (2) deducem pentru vîscozitatea dinamică expresia :

$$\eta = \frac{\pi p r^4 t}{8 l V} \tag{3}$$

Pentru un fluid care curge printr-un tub capilar perfect vertical sub presiunea creată de propria lui greutate, (3) devine :

$$\eta = \frac{\pi \rho g h r^4 t}{8 l V} \tag{4}$$

Lăsînd să curgă prin acelaşi capilar (r şi l acelaşi) volume egale de fluid (ca de exemplu dintr-o soluţie şi din dizolvantul corespunzător) pentru vîscozitatea relativă a soluţiei se obţine (5), făcînd raportul între expresia (4) scrisă pentru soluţie şi pentru dizolvant :

$$\eta_r = \frac{\eta_{sol}}{\eta_{diz}} = \frac{\rho_{sol} \cdot t_{sol}}{\rho_{diz} \cdot t_{diz}} \tag{5}$$

Din (5) se deduce pentru vîscozitatea dinamică a soluţiei :

$$\eta_{sol} = \eta_{diz} \cdot \frac{\rho_{sol} \cdot t_{sol}}{\rho_{diz} \cdot t_{diz}} \tag{6}$$

Descrierea vîscozimetrului Ostwald. Vîscozimetrul Ostwald (Fig. 1) este alcătuit dintr-un tub de sticlă în formă de U.

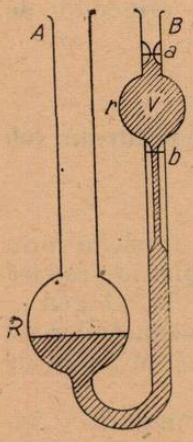


Fig. 1

Ramura A a vîscozimetrului este formată dintr-un tub simplu care are la capătul inferior o bulă-rezervor R. Ramura B este alcătuită dintr-un tub capilar prevăzut la capătul superior cu o bulă-rezervor **r** şi cu o prelungire tubulară care are o gîtuitură ce poartă un reper circular, **a**. Al doilea reper circular **b** se află sub bula-rezervor **r**, deci la capătul superior al tubului capilar. Reperele **a** şi **b** determină un volum V.

Vîscozimetrul Ostwald se introduce într-o baie de termostatare pentru a se asigura menţinerea constantă a temperaturii la care se face determinarea.

Modul de lucru.

Se umple $\frac{2}{3}$ din rezervorul R, al vîscozimetrului, cu dizolvantul soluţiei de cercetat.

Se aşteaptă pînă cînd temperatura dizolvantului din vîscozimetru şi temperatura băii de termostatare este identică şi se menţine constantă. Se notează această temperatură. Folosind un tub de cauciuc se aspiră în rezervorul **r** dizolvant (apă distilată în cazul considerat) pînă în momentul cînd depăşeşte reperul circular **a**. Aspirarea se face lent, cu atenţie, pentru a nu se introduce aer, care determină erori la măsurarea timpului. Se cronometrează timpul, t_{diz}, în care dizolvantul,

cuprins în volumul determinat de reperele **a** și **b**, se scurge liber prin capilar. Meniscul dizolvantului trebuie să fie tangent la reperul **a** în momentul pornirii cronometrului, iar cronometrul se oprește cînd meniscul dizolvantului devine tangent reperului **b**. Se fac cel puțin cinci citiri pentru t_{diz}, apoi se golește dizolvantul din vîscozimetru, iar vîscozimetrul se spală și se usucă perfect.

Analog se lucrează cu soluția de cercetat, determinîndu-se timpul, t_{sol}, necesar scurgerii aceluiași volum, V, de soluție, la aceeași teămperatur θ. Se fac cel puțin cinci determinări.

Observație. Toate determinările aceleiași experiențe se fac folosind același volum de lichid, iar lichidul se ridică în brațul cu tub capilar mereu la același nivel.

Se determină (folosind densimetrele) densitatea dizolvantului (ρ_{diz}) și densitatea soluției (ρ_{sol}).

Valorile pentru ρ_{diz} și η_{diz}, corespunzătoare temperaturii de lucru, se pot lua din tabelele de constante fizice.

Valorile medii ale determinărilor efectuate $\bar{t}_{diz}$, $\bar{t}_{sol}$ precum și ρ_{diz} ρ_{sol} și η_{diz} se înlocuiesc în relația (6) și se calculează vîscozitatea dinamică a soluției cercetate, corespunzătoare temperaturii la care s-au efectuat determinările.

Cu vîscozimetrul Ostwald se poate determina și vîscozitatea dinamică a unui lichid pur, folosind ca lichid de referință apa distilată.

Determinarea vîscozității unui lichid cu ajutorul vîscozimetrului Höppler.

Introducere teoretică.

Asupra unei sfere care cade liber, cu viteză mică, pe direcție verticală într-un fluid vîscos, acționează forțele :

1) Greutatea sferei : $G = m_s g = \frac{4\pi}{3} r^3 \rho_s g$

2) Forța arhimedică, egală cu greutatea lichidului dezlocuit de sferă :

$$F_a = m_l g = \frac{4\pi}{3} r^3 \rho_l g$$

3) Forța de rezistență întîmpinată de sferă la căderea, cu viteză mică, în fluidul vîscos. Forța de rezistență a fost pusă în evidență de Stokes [1]) și se exprimă cantitativ prin relația (7) ; rezistența la căderea sferei într-un fluid vîscos este proporțională cu vîscozitatea dinamică a fluidului, cu dimensiunea liniară transversală a sferei și cu viteza de cădere a sferei :

$$R = 6\pi\eta r v \qquad (7)$$

Relația (7) a fost dedusă folosind calculul hidrodinamic în ipoteza că mediul fluid vîscos în care se mișcă sfera este infinit în raport cu dimensiunile sferei, deci pereții și fundul vasului, în care se află fluidul, nu au nici un efect asupra rezistenței vîscoase opuse căderii sferei.

[2]) G. G. Stokes (1819—1903) mai are lucrări în radiațiile Röentgen, în fluorescență, de asemenea în matematică în unele probleme de calcul integral.

Forţa arhimedică F_a şi forţa de rezistenţă R avînd sensul de jos în sus se opun greutăţii G a sferei, care acţionează de sus în jos.

La începutul mişcării sfera cade accelerat, dar deoarece forţa de rezistenţă R creşte o dată cu mărirea vitezei ($R = 6\ \pi\ \eta\ r\ v$) ea reuşeşte la un moment dat (relativ repede) ca împreună cu forţa arhimedică F_a să echilibreze greutatea sferei, G; din momentul echilibrării forţelor ($G = F_a + R$) sfera continuă să cadă, datorită inerţiei, cu o mişcare uniformă, avînd viteza constantă v_c.

Pentru mişcarea uniformă a sferei este valabilă egalitatea:

$$\frac{4\pi}{3} r^3 \rho_s g = \frac{4\pi}{3} r^3 \rho_l g + 6\pi\eta r v_c \tag{8}$$

Din (8) deducem pentru vîscozitatea dinamică a fluidului:

$$\eta = \frac{2}{9} r^2 g (\rho_s - \rho_l) \cdot \frac{1}{v_c} \tag{9}$$

Dar $v_c = \frac{l}{t}$, deci (9) devine:

$$\eta = \frac{2}{9} \frac{r^2 g}{l} (\rho_s - \rho_l) \cdot t$$

Deoarece $\frac{2}{9} \frac{r^2 g}{l} =$ constant (pentru o sferă anumită şi un l anumit), se poate scrie:

$$\eta = K(\rho_s - \rho_l) \cdot t \tag{10}$$

Relaţia (10) este valabilă la căderea liberă a unei sfere rigide într-un fluid vîscos şi cu condiţia ca distanţa de la sferă la pereţii şi fundul vasului să fie suficient de mare. Practic nu se poate evita efectul pereţilor şi fundului vasului în care se pune fluidul, deci în realitate se manifestă un efect de perete şi un efect de fund. Corecţia de perete a fost calculată teoretic de R. Ladenburg şi de H. A. Lorentz, iar experimental a fost determinată de Gibson şi Jacobs. Efectul de fund este o funcţie de $\frac{r}{L}$, unde r este raza sferei, iar L înălţimea ei faţă de fundul vasului.

Legea lui Stokes $R = 6\pi\ \eta\ r\ v$, deci şi relaţia (10), este valabilă numai pentru curgerea strict laminară; în domeniul curgerii turbulente rezistenţa vîscoasă creşte cu pătratul razei sferei şi cu pătratul vitezei ei.

Faptul că orice impuritate şi o cît de mică abatere a sferei de la sfericitate au efect negativ asupra măsurătorilor prin această metodă, face principiul căderii sferei neindicat pentru măsurători absolute şi inferior ca precizie principiului curgerii prin capilare.

S-au construit vîscozimetre pe un principiu în care intervine căderea unei sfere într-un tub cilindric, dar care se deosebeşte de condiţiile legii lui Stokes. Vîscozimetrele, construite pe principiul căderii excentrice, prin rostogolire, a unei sfere de rază apropiată de raza cilindrului în care cade, se numesc vîscozimetre Höppler. La vîscozimetrele Höppler sfera cade într-un cilindru plin cu lichidul de cercetat, înclinat faţă de verti-

cală; deci sfera cade de la început excentric și își păstrează aceeași excentricitate tot timpul căderii. Vîscozimetrul Höppler prin felul cum este conceput (căderea sferei mereu cu aceeași excentricitate) elimină erori care se datoresc oscilațiilor sferei în jurul direcției de cădere, oscilații care în cazul căderii centrice a sferei produc o curgere turbulentă, ceea ce duce la pierderi considerabile de energie cinetică, deci la erori mai mari ale metodei. În cazul vîscozimetrului Höppler formula (10) este valabilă dar numai cu modificarea corespunzătoare a constantei.

Descrierea vîscozimetrului Höppler de laborator. Vîscozimetrul Höppler (Fig. 2) este alcătuit dintr-un tub cilindric, T, din sticlă care servește pentru căderea sferelor σ; tubul are o anumită înclinație și pe el sînt trasate reperele echidistante 1, 2 și 3. Cilindrul de cădere, T, este prevăzut cu două dopuri D și Δ, dopul D prezintă un orificiu capilar care se acoperă cu dopul d, iar capacele metalice C_1 și C_2 închid ermetic tubul.

Cilindrul de cădere este înconjurat de manșonul-baie M (cămașă cilindrică de sticlă); manșonul-baie este ermetic închis cu două capace metalice fixate cu trei tije filetate și piulițele, P, corespunzătoare. Capacul superior al manșonului-baie are două orificii filetate, unul pentru fixarea termometrului τ și altul mai mic pentru comunicarea cu atmosfera la umplerea și golirea băii; orificiul mic se închide cu dopul filetat δ. Manșonul-baie poate comunica cu un termostat prin intermediul celor două tuburi de racordare, T , care se prelungesc în interiorul manșonului-baie cu un tub scurt de intrare i și altul lung pentru ieșire I.

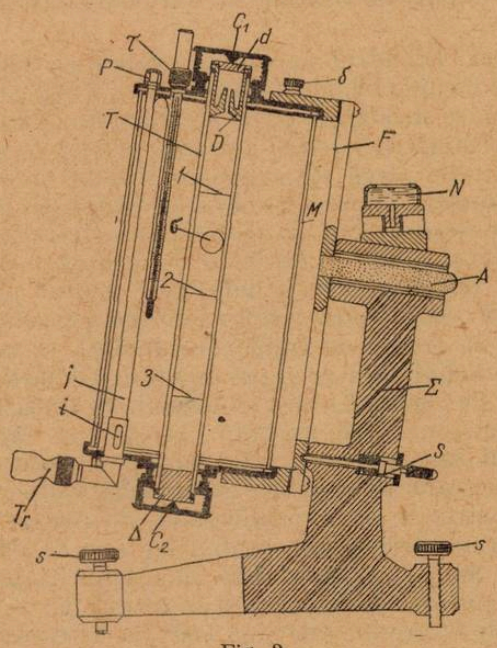


Fig. 2

La unele vîscozimetre încălzirea băii se poate face direct, folosind rezistența electrică care se află în manșonul-baie.

Cilindrul de cădere și manșonul-baie sînt fixate în stativul Σ prin intermediul furcii metalice F; folosind șurubul de fixare S și un lagăr de

rotire în care intră un ax metalic A (prelungire laterală a furcii F), ax în jurul căruia se poate roti vîscozimetrul propriu-zis (cilindrul de cădere și manșonul-baie).

Stativul Σ mai este prevăzut cu șuruburile s și nivela sferică N.

Vîscozimetrul Höppler este dotat, de obicei, cu 6 sfere de raze și materiale diferite; fiecare sferă este destinată determinărilor vîscozităților dintr-un anumit domeniu. Fiecare vîscozimetru Höppler are trecut în prospectul său un tabel care cuprinde: domeniul de măsurare a vîscozității, diametrul, valoarea constantei K și densitatea corespunzătoare fiecărei sfere ce însoțește vîscozimetrul.

Vîscozimetrul Höppler este însoțit de o trusă de termometre dintre care unul pentru domeniul 19°C — 21°C, gradat în $\frac{2}{100}$ °C, iar celelalte acoperă domeniul temperaturilor —30°C pînă la 150°C și sînt gradate în $\frac{1}{2}$°C, $\frac{2}{10}$ °C și $\frac{1}{10}$ °C.

Vîscozimetrul mai are accesoriile: un agitator pneumatic cu pară de cauciuc (se folosește, racordat prin T, , pentru uniformizarea temperaturii cînd încălzirea se face cu rezistența electrică), un calibru inelar pentru identificarea sferelor, o pensetă specială pentru manevrarea sferelor, perii pentru curățirea cilindrului de cădere, pîlnie pentru filtrare cu placă filtrantă, dopuri de cauciuc și din metal pentru tubul de cădere etc.

Modul de lucru. Cilindrul de cădere, sferele și dopurile se spală și se usucă perfect. Se închide cilindrul de cădere cu dopul și capacul inferior. Lichidul de cercetat se încălzește cu 10°C deasupra temperaturii maxime la care se face determinarea (pentru evitarea bulelor de gaz). Se filtrează lichidul de cercetat. Se alege sfera pentru lichidul de cercetat folosind tabelul și calibrul inelar. Timpul de cădere, pentru 10 cm (intervalul de cădere cuprins între reperele 1 și 3), al sferei alese trebuie să îndeplinească condiția: 30 s $<$ timp $<$ 300 s; astfel se realizează o curgere laminară. Se umple cilindrul de cădere cu lichidul de cercetat pînă la 2 cm sub marginea superioară; se introduce sfera folosind penseta. Se pune dopul D (lichidul trebuie să treacă de capilarul dopului), se aspiră cu o hîrtie de filtru excesul de lichid apoi se așază dopul d. Dopurile folosite sînt de metal dacă lichidul de cercetat atacă cauciucul. Se fixează apoi și capacul C_1. Se menține constantă temperatura la care se face determinarea, folosind termostatul sau rezistența electrică a vîscozimetrului și agitatorul pneumatic cu para de cauciuc. Se notează temperatura constantă, θ, citită la termometrul τ al vîscozimetrului. Se reglează poziția orizontală a stativului prin intermediul șuruburilor s și se verifică orizontalitatea cu nivela N. Se așteaptă ca sfera să ajungă la fundul tubului de cădere. Se slăbește șurubul de fixare S și se rotește vîscozimetrul propriu-zis, în jurul axului de fixare în stativ, cu 180°; se așteaptă ca sfera să cadă din nou la fund. Se aduce vîscozimetrul în poziția inițială, se fixează cu șurubul de fixare și se controlează orizontalitatea. Pentru măsurarea timpului în care sfera parcurge spațiul dintre reperele 1 și 3, se folosește un cronometru cu precizia de 0,1 s sau 0,2 s. Se cronometrează timpul, pornind cronometrul în momentul cînd sfera ajunge tangentă la planul primului reper și oprind cronometrul în clipa în care sfera ajunge tangentă

la planul reperului al treilea. Pentru a evita unele erori se recomandă ca cilindrul de cădere să fie luminat, în timpul determinărilor, cu o lampă fără radiații termice.

Se măsoară timpul de cădere al sferei de cel puțin cinci ori, pentru același interval de cădere, apoi se face media aritmetică a valorilor obținute.

Constanta K și densitatea ρ_s corespunzătoare sferei utilizate (luate din tabel), densitatea lichidului de cercetat ρ_l, precum și valoarea medie obținută pentru timpul de cădere al sferei, $\bar{t}$, se introduc în relația (10) și se calculează vîscozitatea dinamică, η, pentru lichidul cercetat, la temperatura determinării.

Avantajele vîscozimetrului Höppler:

1) Cu ajutorul vîscozimetrului Höppler se poate determina și vîscozitatea gazelor; în acest scop se folosesc niște dopuri speciale de cauciuc cu tuburi speciale de sticlă cu robinet și o sferă de oțel cromat și aurit sau de sticlă.

2) Avantajul deosebit al vîscozimetrului Höppler constă în faptul că se pot determina cu el vîscozități dintr-un domeniu foarte larg, variind între vîscozități de ordinul $10^{-4} \frac{N \cdot s}{m^2}$ pînă la $100 \frac{N \cdot s}{m^2}$.

(Va urma)

CĂTRE COLABORATORII NOȘTRI,

Articolele, notele și orice materiale destinate publicării în Revista de Fizică și Chimie seria A trebuie să fie redactate clar și concis (maximum 10 pagini dactilografiate la două rînduri) în două exemplare, însoțite de figuri desenate separat de text, cît mai sugestive, de preferință în tuș pe calc. Fotografiile trebuiesc executate în contrast puternic alb-negru. Figurile și fotografiile trebuiesc trimise de asemenea în două exemplare.

Articolele trebuiesc semnate (dactilografiat) imediat sub titlu, împreună cu titlul didactic și localitatea autorului.

Pe ultima pagină, pe ambele exemplare, trebuie scrisă complet adresa autorului.

În același plic cu materialul, colaboratorii noștri sînt rugați să introducă și o carte poștală cu adresa proprie (la destinatar) pentru a ne ajuta în promtitudinea răspunsului.

Materialele ne publicate nu se restituie autorilor.

Pe adresa redacției primim propunerile și sugestiile Dvs. cu privire la tematica Revistei, note critice asupra articolelor publicate pînă acum.

Dorim ca Revista de Fizică și Chimie să vă fie de un real folos în activitatea Dvs. științifică și didactică.

Pentru a veni în sprijinul cititorilor care doresc să-și procure numere mai vechi din RFC, anunțăm că se mențin în vînzare, un an de la apariție, cîteva exemplare din fiecare număr, la magazinele de anticariat ale Direcției de Expediere a Presei. Dăm adresa lor:

București: Bd. Magheru nr. 18 sector I; **Cluj**: Str. Dr. Petru Groza nr. 32; **Iași**: Piața Unirii nr. 7; **Timișoara**: Str. 9 Mai nr. 3

Pentru a vă asigura cu regularitate primirea revistei, și a avea completă colecția, abonați-vă pe o perioadă mai îndelungată.

Costul unui abonament anual: lei 36.

Costul unui abonament pe 6 luni: lei 18.

Comitetul de Redacție

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

I. P. Informația — c. 2583

Index 43459

Lei 3

SOCIETATEA DE ȘTIINȚE FIZICE ȘI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista
DE
FIZICĂ ȘI CHIMIE

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

SERIA A
VOLUMUL VIII

9

SEPTEMBRIE 1971

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE
STR. NUFERILOR 23, SECTORUL 7 BUCUREȘTI—46, TELEFON 16.42.86

SUMAR

Pag

Dr. V. Drăgănescu

1. Radiația laser și proprietățile sale 321

V. Vasiliu, A. Chetroiu, D. Apostol

2. Laserul cu He—Ne și aplicațiile sale 330

N. Comaniciu, V. Drăgănescu și C. Axinte

3. Laserul cu bioxid de carbon și aplicațiile sale 338

C. Berenyi, Maria Bârlogeanu

4. Laseri ionici 347

Maria Ittu

5. Aplicațiile laserilor în chimie 355

Acest număr este realizat cu concursul cercetătorilor de la Institutul de Fizică Atomică București

COMITETUL DE REDACȚIE

Constantin D. Albu, lector univ; **Teodor Bohățiel**, asist. univ; **Simion Bulgărea**, prof.; **Maria Codrenu**, prof.; **Andra Körner**, redactor; **Nicolae Martalogu**, conf. univ.; **Eleonora Mihul**, cercetător; **Ion C. Moisil**, conf. univ.; **Alice Negoescu**, prof.; **Ion C. Petrea**, conf. univ.; **Victor Sahini**, prof.univ.; (m. c. Acad. Republicii Socialiste România); **Elena Teodoru**, prof.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

(Seria A)

PUBLICAŢIE LUNARĂ PENTRU TINERET

Anul VIII Nr. 9 septembrie 1971

RADIAŢIA LASER ŞI PROPRIETĂŢILE SALE

Dr. V. DRĂGĂNESCU

I. Introducere

Revoluţia tehnico-ştiinţifică, ce caracterizează secolul 20, a cuprins în desfăşurarea sa şi domeniul nostru de activitate : fizica. Fizica a ajuns la o astfel de dezvoltare, încît, alături de ştiinţele tehnice, ea a devenit o forţă de producţie. Industrializarea cercetărilor de fizică este acum la ordinea zilei şi aproape că nu mai putem concepe o cercetare serioasă care să nu fie îndreptată spre rezolvarea unor cerinţe importante ale economiei sau culturii. În contexul acestor înoiri, care au apărut în domeniul fizicii, descoperirea şi dezvoltarea vertiginoasă a laserilor vine ca o confirmare a ideilor de mai sus. Se vorbeşte astăzi despre laseri ca fiind cea mai importantă descoperire a secolului 20.

Atît proprietăţile cu totul deosebite ale radiaţiei laser, cît şi diferitele şi multiplele domenii în care ea poate fi utilizată, au făcut ca cercetările să se dezvolte extrem de rapid, şi să parcurgă în numai 10 ani toate etapele de dezvoltare inclusiv trecerea la producţia de serie nu numai a multor tipuri de laseri, ci şi a unor instalaţii complexe cu laseri.

Există mulţi parametri care determină folosirea laserului pentru o aplicaţie industrială : coerenţa spaţială şi temporală, puterea, lungimea de undă, directivitatea, costul, etc. Coerenţa spaţială şi puterea permit ca energia laserului să fie focalizată pe o arie foarte mică dînd naştere unor densităţi de energie foarte mari, care pot fi folosite pentru diferite operaţii de prelucrare a metalelor şi materialelor dure şi foarte dure, ca : sudura, găurirea, tăierea. Lungimea de undă este importantă în determinarea cantităţii de energie absorbită. Coerenţa spaţială este, pentru laserii cu gaz de putere mică, practic perfectă şi produce fascicule puternic colimate, care pot fi folosite în alinieri şi ca surse de lumină punctiforme pentru difracţie. Coerenţa temporală permite generarea luminii cu o singură frecvenţă şi a introdus interferometria în măsurători industriale ca şi interferometria holografică. Intensitatea şi proprietăţile de coerenţă oferă o sursă de lumină perfecţionată pentru fenomene de difuzia luminii şi permite să se observe interacţii neliniare.

Deşi au fost prezentate numeroase materiale ca fiind capabile de a prezenta efect laser, sînt puţine acelea care s-au impus şi au condus la realizarea unor tipuri de laseri industriali.

În 1960, T. H. Maiman [1] iluminînd intens un rubin a observat că acesta emite un fascicul aproape paralel de lumină roşie foarte intensă şi aproape perfect monocromatică.

Puțin mai tîrziu, adică în 1961 A. Javan [2] a obținut același fenomen excitînd cu un cîmp de înaltă frecvență un amestec de He—Ne. Lumina obținută, situată la 1,15 μ, era ca și în cazul rubinului sub forma unui fascicul îngust și frecvența sa era foarte bine definită, corespunzînd unei mari purități spectrale.

După aceea, un mare număr de medii, atît solide cît și gazoase și chiar lichide, au permis obținerea a ceea ce se numește în prezent „efect laser" (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation).

Fenomenul care stă la baza efectului a fost studiat de C. H. Townes [3] care, în același timp cu N. G. Basov [4] au propus o experiență care să folosească emisia stimulată pentru amplificarea undelor ultrascurte. (Micro-wawe Amplification by Stimulated Emision of Radiation). Primul maser a fost pus în funcțiune în 1954 de către I. P. Gordon, H. Z. Zeiger și T. H. Townes [5].

În 1958 Schawlow și Townes au publicat un articol [6] în care transpuneau teoria maserului din domeniul undelor radio în cel al undelor luminoase, oferind perspectiva realizării practice a unor astfel de surse de lumină cu o coerență spațială și monocromaticitate de neconceput la sursele de lumină clasice.

Performanțele extraordinare astfel prevăzute au accelerat realizarea primilor laseri, lansînd în cercetarea laser sute de laboratoare (numai în SUA, în 1963 erau aproximativ 500 [7], iar cifra de afaceri a aplicațiilor laser era în 1967 de peste 200 milioane dolari [8]).

La noi în țară cercetările în domeniul laserilor au început la îndemnul și sub conducerea directă a regretatului profesor Ion Agârbiceanu, memoriei căruia dedicăm întregul nostru grup de referate.

Preocupările pe care le aveam atunci și experiența de care dispuneam în acel timp, ne-au permis ca în 1962 să realizăm primul laser cu He—Ne, reușind să fim astfel printre primele țări care dispuneau de o instalație laser.

În decurs de cîțiva ani am reușit să realizăm practic toate tipurile mai importante de laseri, care prezintă interes practic și științific, astfel că dispunem în prezent de laseri cu He—Ne de diferite construcții cerute de aplicațiile concrete, laseri cu argon ionizat, cu Cd—He, cu bioxid de carbon cu funcționare continuă, în impulsuri sau declanșați, laseri cu sticlă dopată cu neodim. Dar preocupările noastre nu au fost orientate numai spre realizarea de noi și noi tipuri de laseri, ci și spre aplicarea lor atît în știință cît și în industrie. Dispunem astăzi de rezultate frumoase în domeniul holografiei, al uzinajului fotonic, al detecției radiației laser, al alinierilor cu laseri, al diagnosticării plasmei cu laseri și multe altele.

Unii din laserii realizați de noi au fost deja multiplicați în serie mică și introduși în dotarea laboratoarelor de fizică din Învățămîntul Superior sau în unele unități industriale.

II. Mecanismul de funcționare a laserilor

1. *Procese radiative în sistemele atomice* [9]

Într-un sistem atomic (atom, moleculă sau ion) electronii se află în anumite stări energetice bine determinate numite stări staționare, cărora le corespund nivelele de energie ale sistemului atomic. Între aceste stări staționare se pot produce tranziții care dau naștere proceselor radiative, a căror frecvență este dată de relația lui Bohr :

$$h\nu = E_n - E_m \qquad (1)$$

unde E_n și E_m sînt energiile stărilor între care are loc tranziția, iar h este constanta lui Planck. Nivelul cu cea mai mică energie este nivelul fundamental, toate celelalte sînt nivele excitate.

Trecerea unui atom de pe nivelul fundamental pe un nivel excitat nu se poate face decît prin absorbție de energie din mediul exterior. Un sistem atomic nu poate rămîne un timp prea lung în starea excitată și tinde să revină în starea cea mai stabilă — starea fundamentală, prin cedarea surplusului de energie sub formă de emisie spontană. Acest proces se produce cu probabilitatea A_{nm} — unde n este nivelul superior, iar m — nivelul inferior. Radiația spontană a unui atom este independentă de a celorlalți atomi, faza radiațiilor spontane ale unei colecții de atomi fiind o mărime aleatorie. Radiația spontană este deci incoerentă.

Procesul de emisie nu are loc numai spontan, ci și stimulat de către o radiație electromagnetică de aceeași frecvență, cu o probabilitate B_{nm}. Această radiație stimulată este în fază cu radiația exterioară excitatoare.

În consecință, probabilitatea totală ca un atom să treacă de la un nivel superior pe un nivel inferior, P_{nm} este:

$$P_{nm} = A_{nm} + u_\nu B_{nm} \tag{2}$$

unde u_ν este densitatea de radiație cu frecvența $\nu = \nu_{nm}$.

În prezența unei radiații de frecvență ν_{mn} sistemul atomic trece de la un nivel de energie mai scăzut la un nivel mai ridicat cu o probabilitate:

$$P_{nm} = u_\nu B_{mn} \tag{3}$$

efectuînd un proces de absorbție de energie.

Coeficienții A și B sînt legați între ei prin relațiile lui Einstein [10]:

$$B_{nm} = B_{mn}; \; A_{nm} = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} B_{nm} \tag{4}$$

La echilibru termic, la temperatura absolută T, atomii se repartizează pe diferite stări după legea lui Boltzman. Numărul de atomi într-o stare j este dat de:

$$N'_j = \frac{N_0 e^{-E_j/KT}}{\sum_i e^{-E_j/KT}} \tag{5}$$

unde N_0 este numărul total de atomi, iar E_j este energia stării j. Toate stările care au același nivel de energie sînt egal populate, de aceea numărul de atomi pe nivelul n este $N_n = g_n N'_n$, N'_n fiind populația uneia din stările acestui nivel, iar g_n greutatea statistică a nivelului sau degenerescența stării.

În cazul a două nivele de energie n și m raportul populațiilor lor este:

$$\frac{N_n}{N_m} = \frac{g_n}{g_m} e^{-(E_n - E_m)/KT} \tag{6}$$

La zero grade absolute toți atomii vor fi pe nivelul fundamental, iar la echilibru termic la temperatura T, populația stărilor va scădea cu creșterea energiilor.

2. *Inversia de populație*

Un fascicul de lumină care traversează un mediu ale cărui stări de energie inferioară sînt mai populate decît stările de energie superioară, va fi întotdeauna atenuat, ceea ce înseamnă că acel mediu are un coeficient de absorbție pozitiv.

Dacă însă nivelul superior n are o populație N_n care este mai mare decît a nivelului inferior, se zice că în mediul considerat s-a creat o inversie de populație. Starea de inversie de populație nu este o stare de echilibru termodinamic. În aceste condiții materialul va radia spontan, dar se poate comporta și ca un amplificator de radiație selectiv cu frecvența sa proprie :

$$\nu = (E_n - E_m)/h \tag{7}$$

Emisia spontană de aceeași frecvență va fi considerată atunci ca un zgomot.

Coeficientul de absorbție al mediului în cazul inversiei de populație este negativ ceea ce înseamnă că avem o absorbție negativă, adică o amplificare. Absorbția negativă sau amplificarea se datorește unui exces al radiației stimulate față de radiația absorbită.

Dacă un fascicul de lumină de intensitate I_0 se propagă în direcția x, intensitate sa variază după legea :

$$I_\nu = I_0 e^{\alpha_\nu x} \tag{8}$$

unde $\alpha_\nu = -k_\nu$ este o funcție de frecvență, care are alura din figura 1.

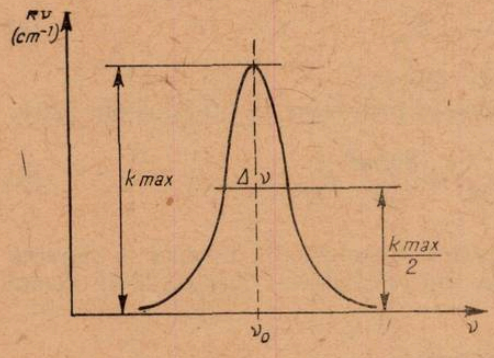


Fig. 1. Dependența de frecvență a coeficientului de absorbție

Integrala lui α_ν, conduce la relația lui Füchtbauer-Ladenburg :

$$\int \alpha_\nu d_\nu = KN_0 \left(\frac{g_1}{g_2} \frac{N_2}{N_0} - \frac{N_1}{N_0} \right) \tag{9}$$

unde KN_0 este valoarea integrată a absorbției materialului neexcitat. Mărimea :

$$N = \frac{g_1}{g_2} N_2 - N_1 \tag{10}$$

se numește inversie de populație.

Dacă $N_2 < N_1$ are loc absorbția radiației de către mediu, iar dacă $N_2 > N_1$, are loc amplificarea radiației de către mediu, care în anumite condiții poate să ducă la o generare de lumină laser. Pentru aceasta,

mediul amplificator se plasează într-o cavitate rezonantă formată din două oglinzi perfect paralele, cavitate care va trebui să aibă pierderi minime pentru ca oscilaţia laser să poată fi întreţinută.

În mod practic inversia de populaţie se realizează între două nivele de energie excitate, deoarece nivelul fundamental care este format din atomii neexcitaţi este foarte populat, astfel încît realizarea inversiunii între nivelul fundamental şi un nivel excitat este imposibilă.

Cea mai simplă schemă de realizare a inversiei de populaţie este cea cu trei nivele (figura 2), în care E_0 este nivelul fundamental, iar E_1 şi

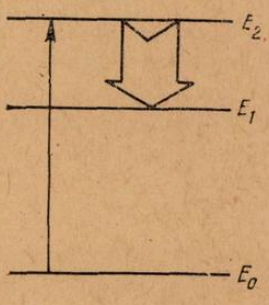


Fig. 2

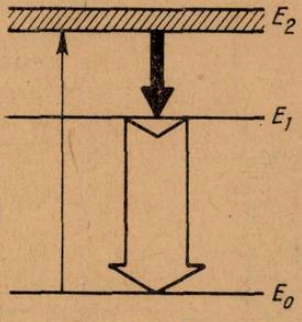


Fig. 3

E_2 sînt nivelele excitate. Sub influenţa luminii de frecvenţă :

$$\nu_{02} = \frac{E_2 - E_0}{h} \tag{11}$$

de intensitate mare, atomii sînt excitaţi pe nivelul E_2 şi ulterior poate avea loc emisia stimulată pe frecvenţa :

$$\nu_{12} = \frac{E_2 - E_1}{h} \tag{12}$$

dacă iniţial nu avem nici un atom pe nivelul E_2.

Acest proces duce la absorbţia de la E_1 la E_2 şi ca atare o amplificare prin stimularea emisiunii la frecvenţa ν_{12} poate continua numai dacă atomii sînt suficient de rapid îndepărtaţi de pe nivelul E_1. Deci această schemă va duce la emisie stimulată numai dacă viteza de relaxare de la E_1 la E_0 este mai mare decît viteza de relaxare de la E_2 la E_1. Schema cu trei nivele din figura 3 poate fi utilizată cînt atomii pompaţi de lumină la E_2, relaxează rapid la E_1 şi se acumulează aici, deoarece tranziţia $E_1 \rightarrow E_0$ fie că este interzisă prin vreo regulă de selecţie, fie că are o probabilitate foarte mică. În cazul acestei scheme procesul de pompaj al atomilor de la E_0 la E_2, urmat de relaxarea la E_1 poate fi continuat pînă cînd peste jumătate din atomi au fost acumulaţi pe E_1 după care poate avea loc amplificarea prin emisie stimulată la frecvenţa :

$$\nu_{10} = \frac{E_1 - E_0}{h} \tag{13}$$

Prima schemă are avantajul că inversia de populaţie este mai uşor stabilită între E_2 şi E_1 decît între E_1 şi E_0, deoarece E_1 este iniţial gol şi E_0 este plin. Cu toate acestea, a doua schemă este mai avantajoasă deoarece

E_2 poate fi o bandă largă încît să poată absorbi — în mod efectiv — o gamă largă de lumină pompată, pe cînd E_1 poate rămîne îngust pentru emisia stmulată puternică.

Avatajele ambelor scheme se regăsesc în schema cu patru nivele din figura 4. Aici E_3 poate fi o bandă largă, pe cînd E_2 şi E_1 pot fi nivele înguste. E_1 este în mod normal gol datorită relaxării rapide către E_0.

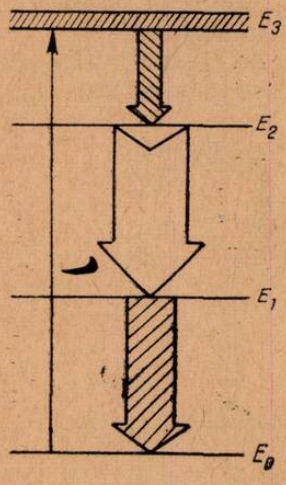


Fig. 4

Indiferent de schema de pompaj utilizată, odată ce inversia de dopulaţie a fost realizată, într-un mediu, o undă de aceeaşi frecvenţă care trece prin mediu va fi amplificată. Pentru ca oscilaţia laser, care apare, să poată fi întreţinută va trebui ca amplificarea în mediul activ să fie superioară pierderilor prin reflexie sau prin difracţie ale cavităţii rezonante, ceea ce înseamnă că trebuie realizată condiţia de prag.

3. *Condiţia de prag*

Lumina laser va fi formată din emisie spontană şi din emisie stimulată. Lumina care nu va părăsi cavitatea prin pereţii laterali, va efectua numeroase treceri dute-vino între oglinzile cavităţii. La fiecare reflexie o parte din energia incidentă părăseşte cavitatea prin oglinda de ieşire care este parţial transparentă pentru a realiza cuplajul laserului cu exteriorul. Oscilaţiile vor fi întreţinute numai dacă cîştigul pe o trecere este suficient pentru a compensa pierderile de energie la fiecare reflexie precum şi pierderile datorate altor cauze secundare.

Cîştigul pentru un drum dus întors între oglinzile laserului (fig. 5)

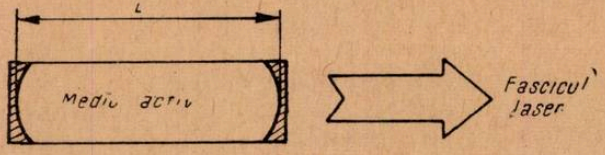


Fig. 5

este dat de o relaţie în care intră factorul de atenuare γ:

$$F = e^{2(\alpha L - \gamma)} \tag{14}$$

Factorul de atenuare γ este dat de valorile coeficienţilor de reflexie ai celor două oglinzi prin relaţia:

$$\gamma = -\log_e r \tag{15}$$

unde r este media geometrică a lui r_1 şi r_2, iar L este lungimea laserului, adică distanţa dintre oglinzi.

Dacă $\alpha L = \gamma$, radiaţia se va amplifica rapid şi puterea de ieşire va deveni infinit de mare. O stare staţionară se va menţine dacă valoarea maximă α_m a lui α_ν rămîne puţin inferioară lui γ/L. Această condiţie se numeşte condiţie de oscilaţie. Deoarece α_ν este aproape egal cu α_m într-un interval spectral foarte îngust, amplificarea nu va fi suficientă

pentru a compensa pierderile, decît în acest domeniu. Radiaţia laser va fi deci foarte monocromatică, lărgimea sa de bandă fiind cu mult mai mică decît lărgimea liniei atomice.

Condiţia de prag leagă valoarea maximă a curbei de amplificare de lungimea laserului şi de pierderi. Formulele lui Füchtbauer-Ladenburg leagă integrala curbei de amplificare cu inversia de populaţie. Se poate da deci pragul în funcţie de inversia de populaţie dacă forma curbei de amplificare este cunoscută. Astfel inversia de populaţie devine :

$$\frac{g_1}{g_2} N_2 - N_1 = \frac{1}{Kg(\nu_0, \nu_0)} \frac{\gamma}{L} \tag{16}$$

Pentru gaze, ale căror linii sînt de tip Doppler relaţia (16) permite să se scrie :

$$\frac{g_1}{g_2} N_2 - N_1 = \frac{\Delta\nu}{0{,}939\,K} \cdot \frac{\gamma}{L}, \tag{17}$$

iar pentru o linie de tip lorentzian :

$$\frac{g_1}{g_2} N_2 - N_1 = \frac{\pi\Delta\nu}{2K} \frac{\gamma}{L} \tag{18}$$

Trebuie remarcat că lărgimea liniei $\Delta\nu$ este independentă de frecvenţă în cazul profilelor lorentziene şi este proporţională cu frecvenţa, pentru linia Doppler.

Factorul K este proporţional cu ν^{-2}, iar inversia de populaţie necesară pentru a atinge pragul, pentru un profil lorentzian este proporţională cu ν^2, iar pentru unul Doppler cu ν^3. Rezultă deci, că în condiţii egale este mai uşor de a realiza condiţia de oscilaţie pentru frecvenţele joase.

În cazul solidelor forma liniei este ceva mai complicată, şi condiţia de prag este :

$$\frac{g_1}{g_2} N_2 - N_1 = \frac{\gamma}{\sigma_0 L} \tag{19}$$

unde σ_0 este secţiunea eficace de absorbţie maximă pentru atom.

În concluzie, procesul care are loc într-un laser, adică într-un mediu activ (în care se întreţine forţat o inversie de populaţie), plasat într-o cavitate este următorul. În urma pompajului pe nivelul superior, atomii revenind pe nivelele inferioare emit spontan în toate direcţiile. O parte din radiaţia emisă pe direcţia oglinzilor cavităţii este reflectată de acestea, revenind în mediu şi stimulînd alte tranziţii. La rîndul ei, radiaţia stimulată va fi reflectată din nou înapoi în mediu şi va stimula alte tranziţii. În felul acesta se produce un proces de avalanşe care crează de-a lungul axei oglinzilor o radiaţie deosebit de intensă din care o parte iese din cavitatea rezonantă sub forma de radiaţie laser prin oglinda parţial transparentă.

4. *Cavităţi rezonante*

Rolul cavităţii rezonante sau al rezonatorului optic este acela de a face ca radiaţia produsă de mediul activ să execute numeroase drumuri dus întors prin mediu, astfel încît cîştigul, sau amplificarea prin emisie stimulată să depăşească pierderile.

O distribuție de cîmp care se reproduce pe ea însăși în distribuție spațială și în fază, dar nu și în amplitudine, cînd unda se deplasează între reflectorii unei cavități, constituie un mod de oscilație. Amplitudinea nu se reproduce din cauza pierderilor prin reflexie și prin difracție. Din cauza acestor pierderi inevitabile, un mod dat are un timp de viață definit ca timpul necesar pentru ca amplitudinea sa să se amortizeze la e^{-1} din valoarea sa inițială. Există două feluri de moduri: longitudinale și transversale.

Modurile longitudinale sînt stabilite în raport cu numărul de noduri în lungul axei cavității, iar modurile transversale sînt definite prin numărul de noduri în planul unei oglinzi, adică normal pe axa laserului.

Modurile unei cavități rezonante pot fi considerate ca niște oscilații aproape independente. Se zice că un oscilator este caracterizat prin frecvența sa de rezonanță și prin pierderi, care sînt descrise prin factorul de calitate al cavității. Modurile axiale au cele mai mici pierderi, adică cel mai mare factor de calitate Q. Energia de excitare se distribue pe modurile cu cel mai mare Q și ale căror frecvențe sînt cele mai apropiate de frecvența centrală a liniei. Pierderile mari ale modurilor extraaxiale fac ca acestea să aibă niște factori de calitate Q atît de mici încît excitarea lor ajunge să fie neglijabilă. Se poate considera, deci, că laserul nu oscilează decît pe modurile axiale.

III. Proprietățile radiației laser

Radiația laser, la ieșirea sa prin oglinda parțial transparentă, prezintă o serie de proprietăți cu totul diferite de ale oricărei alte surse de lumină.

a) *Directivitatea.* Deoarece numai modurile axiale ale cavității laser vor oscila, numai undele luminoase care se propagă după o direcție riguros paralelă cu axa cavității vor beneficia de o amplificare foarte mare. Directivitatea depinde de caracteristicile rezonatorului, de planeitatea și de paralelismul oglinzilor. Divergențele care se obțin în cazul laserilor cu gaz sînt de ordinul 10^{-3} radiani sau mai bune.

b) *Marea intensitate a radiației laser.* Deoarece atomii sînt stimulați să emită cu o viteză foarte mare față de viteza emisiei spontane, probabilitatea de emisie stimulată este cu trei-patru ordine de mărime mai mare decît cea a emisiei spontane, intensitatea liniei pe domeniul spectral al radiației laser crescînd cu șase pînă la opt ordine de mărime.

c) *Monocromaticitatea.* Radiația laser este foarte monocromatică, adică are o lărgime de bandă extrem de mică, în raport cu lărgimea de bandă a unei linii atomice. Semilărgimea liniei laser este legată de semilărgimea liniei atomice $\Delta\nu$, de factorul de calitate al cavității Q și de puterea de ieșire a radiației laser.

d) *Coerența.* Coerența unei radiații emise de o sursă luminoasă poate fi definită prin intermediul interferenței. Se spune că dacă două raze provenite din două puncte diferite ale unei surse luminoase pot interfera, dînd franje de interferență, cele două raze sînt coerente. Distanța dintre cele două puncte pînă la care se poate încă obține interferența

caracterizează aşa numita „coerenţă spaţială" a sursei. Dacă radiaţia emisă la un moment dat de un anumit punct al sursei poate interfera cu radiaţia emisă la un moment ulterior de acelaşi punct al sursei, cele două radiaţii sînt coerente în timp, iar mărimea acestui interval de timp caracterizează „Coerenţa temporală" a sursei.

Radiaţia laser, avînd la bază fenomenul de emisie stimulată este coerentă atît spaţial cît şi temporal, spre deosebire de sursele de lumină clasice care sînt aproape total incoerente, emisia luminii fiind spontană.

Dacă cu cea mai fină radiaţie a unei surse clasice — cum este cea a Kr^{86} — se obţine o lungime de coerenţă de pînă la 1 m, în cazul laserilor lungimea de coerenţă este de ordinul sutelor de mii de kilometrii.

e) *Autofocalizarea.* Un fascicul emis de un laser este mai intens la centru decît spre margini. În aceste condiţii, atunci cînd el străbate un mediu, radiaţiile vecine cu centrul secţiunii, care transportă o intensi-

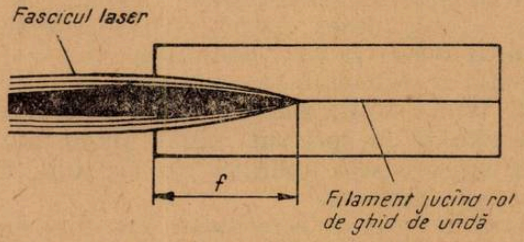


Fig. 6 Autofocalizarea fasciculului laser

tate mai mare, vor merge mai încet decît cele situate spre exterior şi suprafaţa de undă se va curba adunîndu-se ca şi în cazul unei lentile într-un focar. Fenomenul se intensifică cu creşterea densităţii de energie. După un anumit parcurs prin mediul respectiv, fasciculul devine filiform. Diametrul unui astfel de filament luminos este de 5—10 μ. Situaţia este redată schematic în figura 6. [11]

Puterea critică la care se manifestă acest fenomen este de ordinul zecilor, sutelor sau miilor de KW în funcţie de domeniul spectral sau de substanţa folosită.

BIBLIOGRAFIE

1. *Maiman T. H.* — Nature, 187, 493—494, (1960).
2. *Javan A., W. R. Jr. Bennett* and *D. R. Herriot.* Phys. Rev. Letters, 6, 106—110, 1961.
3. *Gordon J. P., H. T. Zeiger, C. H. Townes* — Phys. Rev. 95, 282, 1954.
4. *Basov N. G., A. M. Prohorov,* J.E.T.F., 27, 431, 1954.
5. *Gordon J. P., H. J. Zeiger* and *C. H. Townes,* Phys. Rev. 99, 1264—1274, 1955.
6. *Scharolow A. L.* and *C. H. Townes* — Phys. Rev., 112, 1940—1949, 1958.
7. *Scharolow A. L.* — Advances in optical masers. Scientific American, 34—35, July, 1963.
8. Laser Focus, 1969.
9. *Lengyel B. A.* — Introduction a la Physique de Laser, 1968, Paris.
10. *Einstein A.* — Phys. Zeit. 18, 121—128, 1917.
11. *Orszag A.* — Les Lasers. Paris, 1968.

LASERUL CU He—Ne ȘI APLICAȚIILE SALE

V. VASILIU, A. CHETROIU, D. APOSTOL

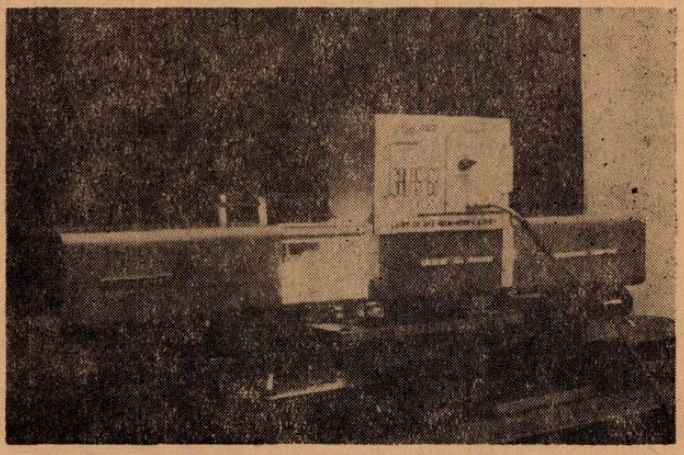
I. Introducere

Laserul cu He —Ne datorită construcției sale relativ simple, puterii consumate reduse (30—50 W), stabilității de funcționare pe durate lungi, (1—5000 ore) și mai ales datorită caracteristicilor sale de înaltă coerență, monocromaticitate și direcționalitate are extrem de multe aplicații în știință și tehnică.

Primul laser cu He—Ne a fost realizat în 1961 de către A. Javan, W. R. Bennett Jr. și P. R. Herriot [1], numai la un an după realizarea laserului cu rubin. Ei au obținut radiația laser situată la 1,15 μ.

Ulterior laserul cu He—Ne a progresat extrem de rapid. Numeroase centre de cercetare au introdus noi tehnici de lucru care au avut ca rezultat obținerea unor noi tranziții laser. Astfel, utilizarea oglinzilor sferice [2], a ferestrelor la unghi Brewster [3], modularea internă [4], introducerea unei prisme în cavitatea rezonantă [5], au creat posibilități mari în acest domeniu. În 1962 White și Rigden [6] obțin efectul laser pe radiația 0,6328 μ, radiație situată în spectrul vizibil. Importanța acestei descoperiri rezultă din numeroasele aplicații ale laserului cu He—Ne care folosesc tocmai această radiație.

În țara noastră un grup de cercetători, sub conducerea regretatului prof. I. Agârbiceanu, bazați pe experiența ce o dețineau în domeniul pompajului optic, a descărcărilor în gaze și a păturilor subțiri au abordat în 1962 problema laserilor. În octombrie 1962 ei au pus în funcție primul laser cu He—Ne de construcție românească, a patra țară din lume care dispunea de un laser de construcție proprie [7].



1. Fotografia laserului executat de I.F.A.

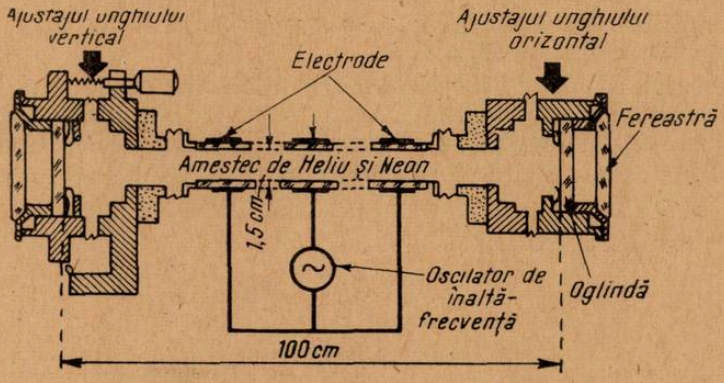
În principiu un laser cu He—Ne este compus din mediul optic activ (amestecul He și Ne), cavitatea optică rezonantă și sursa de energie electrică (Fig. 1). Mediul activ are proprietatea de a amplifica un fascicul de lumină, de o anumită lungime de undă, care traversează acest mediu. Fasciculul de lumină provine chiar de la atomii mediului activ. Pentru

a exploata în întregime proprietatea de amplificare a radiației de către mediul activ, este necesar ca lumina să traverseze mediul activ de un mare număr de ori. Acest lucru se realizează cu ajutorul cavității optice rezonante care este un interferometru Fabry-Pérot, pe axa căruia se plasează mediul activ.

II. Laserul cu He—Ne

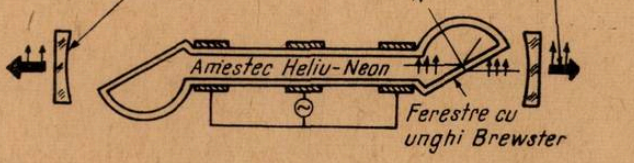
a) *Cavități rezonante utilizate la laserii cu He—Ne*

Toate tipurile de laseri cu He—Ne construite pînă în prezent folosesc drept cavitate rezonantă un interferometru Fabry-Pérot în interiorul căruia se află mediul activ (amestecul de He—Ne, la presiunea și proporția dorită). În general laserii cu He—Ne, în funcție de cercetarea sau apli-



2. Schema laserului cu oglinzi interne, model Javan și colab.

cația dorită, folosesc oglinzi interne tubului cu mediu activ sau oglinzi externe tubului cu mediu activ. (fig. 2 și 3). Monturile metalice ale oglinzilor permit fixarea poziției oglinzilor la un paralelism de secundă



3. Schema laserului cu oglinzi externe

de arc prin rotirea fină a unor șuruburi diferențiale în jurul axei verticale și independent, în jurul axei orizontale. Oglinzile folosite pentru cavitatea rezonantă au o prelucrare deosebit de îngrijită (planeitate = $\lambda/80$) și un înalt coeficient de reflexie ($r = 99\%$). Suprafețele reflectătoare sînt plane sau sferice, montate confocal sau neconfocal.

Cavitatea rezonantă de tip interferometru Fabry-Pérot are proprietatea de a produce unde staționare, prin reflexii repetate pe suprafețele

oglinzilor. Undele staţionare vor favoriza amplificarea undei respective pe unul sau mai multe moduri de vibraţie şi după numărul acestora vom avea un laser monomodal sau multimodal.

Frecvenţa modurilor de vibraţie este o funcţie de lungimea L a cavităţii şi este dată de relaţia :

$$f = q \frac{C}{2L} \tag{1}$$

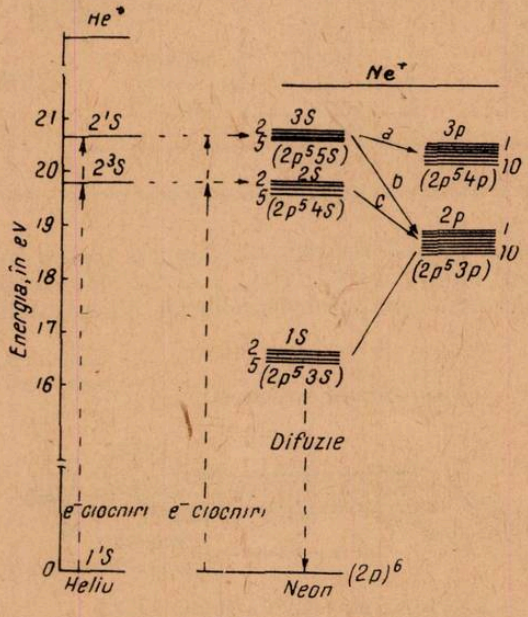
unde $q = 1, 2, 3 \ldots$

b) *Realizarea inversiei de populaţie*

În afară de plasma mediului activ în cavitatea rezonantă, mai este necesar ca mediul activ să admită realizarea inversiei de populaţie între două sau mai multe nivele energetice.

În cazul unui amestec de He—Ne realizarea inversiei de populaţie poate fi explicată cu ajutorul diagramei nivelelor de energie ale celor două gaze, reprezentată în figura 4.

Se observă că nivelul metastabil 2^3S al heliului este foarte apropiat de nivelul excitat 2s al neonului. Acelaşi lucru se întîmplă şi cu nivelele 2^1S(He) şi 3s(Ne). Pentru a avea o inversie de populaţie mare este necesar ca numărul de atomi aflaţi pe nivelul superior al tranziţiei respective să



4. Diagrama parţială a nivelelor de energie ale He şi Ne

fie mare şi aceasta se realizează cel mai uşor cînd acest nivel este metastabil. În plus este necesar ca rata de desexcitare radiativă a nivelului inferior pentru tranziţia laser să fie mai mare decît a celui superior şi de asemenea ca raportul dintre rata de pompaj faţă de rata de scădere radiativă pentru nivelul superior să fie pe cît posibil mai mare.

În amestecul He—Ne, inversia de populație are loc între nivelele energetice ale neonului, iar heliul are un rol esențial în pomparea atomilor de neon pe nivelele superioare.

Cu ajutorul unei descărcări electrice atomii de He din starea fundamentală vor fi excitați pe una din stările 2^1S sau 2^3S, ca urmare a ciocnirilor cu electronii formați în descărcarea în gaz. Apoi atomii excitați de He prin ciocniri de speța a doua cu atomii de Ne în starea fundamentală, vor da naștere unui transfer de energie, neradiativ, din care va rezulta excitarea atomilor de Ne pe nivelele 2s sau respectiv 3s și revenirea atomilor de He în starea fundamentală. Cantitatea foarte mică de energie egală cu diferența dintre cele două nivele, va fi transformată în energie cinetică a celor doi parteneri.

Procesul de populare a nivelelor 2s sau 3s direct prin ciocniri electronice are o probabilitate foarte mică în comparație cu aceea a procesului de transfer de excitare.

Deci prin acest proces de transfer de excitare se crează popularea nivelelor metastabile 2s sau 3s și în același timp inversia de populație între nivelele 2s și 2p; 3s și 3p respectiv 3s și 2p ale neonului.

Cînd un foton, emis în mod spontan, are o energie egală cu diferența de energie dintre stările $3s_2$ și $2p_4$ ale neonului, atunci acesta va interacționa cu atomul de neon din starea $3s_2$ și-l va „stimula" să treacă în starea $2p_4$. Drept rezultat va fi emis un nou foton. Acest foton va avea energia, faza și polarizarea identică cu aceea a fotonului stimulator. Tubul de descărcare acționează astfel ca un amplificator al numărului de fotoni emiși spontan. Atomii astfel emiși, care vor avea direcția de propagare paralelă cu axul tubului cu mediu activ, datorită reflexiei pe oglinzile cavității rezonante, pot face un mare număr de drumuri (dute-vino) prin tub, stimulînd un foarte mare număr de atomi de neon aflați pe una din stările superioare ale tranzițiilor laser. Astfel ia naștere un flux continuu de atomi stimulați și deci apare radiația laser.

Deoarece nivelele superioare ale tranzițiilor laser 2s și 3s conțin cîte 4 subnivele, iar nivelele inferioare 2p și 3p conțin cîte 10 subnivele, fenomenul laser poate avea loc pe toate tranzițiile permise între aceste subnivele.

c. *Oscilațiile laser în amestecul He—Ne*

Efectul laser în acest amestec a fost obținut pe un mare număr de tranziții ale neonului întinzîndu-se de la 0,5853 μ pînă la 124,6 μ [8].

Tranzițiile laser în amestecul He—Ne pot fi împărțite în trei mari grupuri (așa cum sînt notate în figura 4).

a) Emisia stimulată între nivelele 3s → 2p are loc pe un mare număr de linii în I.R. îndepărtat. Tranziția $3s_2 \rightarrow 3p_4$ este cea mai importantă și dă o emisie la 3,39 μ [9].

b) Tranzițiile între 3s → 2p produc linii laser în vizibil, cea mai importantă dintre ele fiind tranziția $3s_2 \rightarrow 2p_4$, $\lambda = 0{,}6328$ μ [6].

c) Tranzițiile între 2s → 2p dau naștere emisiei laser pe un mare număr de frecvențe situate în I.R. apropiat. Dintre aceste tranziții cea mai puternică este radiația 1,15 μ ($2s_2 \rightarrow 2p_4$) [1].

Din aceste numeroase tranziții numai radiațiile 3,39 μ, 1,15 μ și 0,6328 μ au fost foarte bine cercetate.

Laserii cu He—Ne cu funcționare pe 0,6328 μ sau 1,15 μ au căpătat o largă utilizare în cercetare și aplicații.

Puterea emisă de laserii cu He—Ne este mică în comparaţie cu celelalte tipuri de laseri şi depinde printre alţi parametri de lungimea coloanei cu mediu activ şi diametrul acestuia. Sub formă ilustrativă dăm în figura 5 puterea obţinută pe radiaţia 6328 Å în funcţie de cîţiva parametri.

Lungime (m)	Diametru(mm)	Putere	Spectru
			1000 MHz
10	25	1 watt	
3	12	100 mW	
1	6	10 mW	
0,15	1	100 μW	0,1 MHz
0,04	0,6	1 μW	

5. Parametrii caracteristici pentru laserul He—Ne $\lambda = 0{,}6\ \mu$

III. Aplicaţii

Domeniile de aplicaţie ale laserului cu He—Ne se bazează pe monocromaticitatea sa extrem de pronunţată ($f = 10^4$ Hz faţă de o sursă clasică care are $f = 10^9$Hz, cu o durată de coerenţă $\Delta\tau = 10^{-9}$s), pe direcţionalitate şi coerenţa fasciculelor emise.

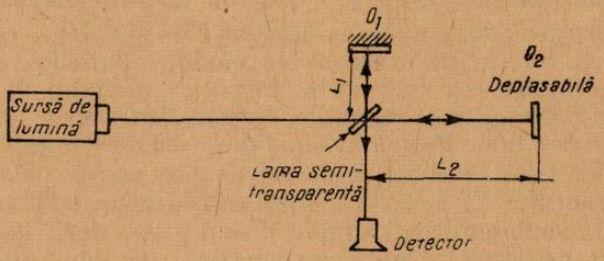
Un laser cu o putere de ieşire slabă, corespunde unei surse luminoase cu o strălucire de mii de ori superioară unei surse puternice de lumină necoerentă.

a. *Interferometrie*

Măsurarea distanţelor prin metode interferometrice se bazează pe producerea unui cîmp de interferenţă ce urmează a fi măsurat şi exprimarea acestuia într-un număr de lungimi de undă a luminii care a produs cîmpul de interferenţă. Din acest număr se află lungimea distanţei în unităţi obişnuite.

Tehnicile de interferometrie au fost aplicate de foarte mult timp pentru a ajuta în selecţionarea unor foarte diverse probleme de fizică. Aceste aplicaţii ale interferometriei au fost adesea numai mijlocul de a verifica idei avantajoase în spectroscopie, în relativitate şi în astronomie, însă acestea au fost foarte puţin extinse în probleme de tehnologie care de fapt aşteaptă şi azi să beneficieze de ele. Cîteva extinderi au avut loc în industria optică (examinarea planeităţii suprafeţelor), în metrologie (măsurarea calibrelor pentru lungimi) însă domeniul aplicaţiilor este sever limitat prin caracteristicile surselor de lumină disponibile.

La izvoarele luminoase clasice (lămpi cu filament, tuburi cu descărcări în gaze, etc) centrii de radiații electromagnetice — atomii — emit vibrații luminoase cu faze întîmplătoare și pentru a fi utilizate în interferometrie trebuiesc luate măsuri speciale. Cu aceste măsuri luate, folosirea lor nu permite măsurarea unor lungimi mai mari de 30 cm.

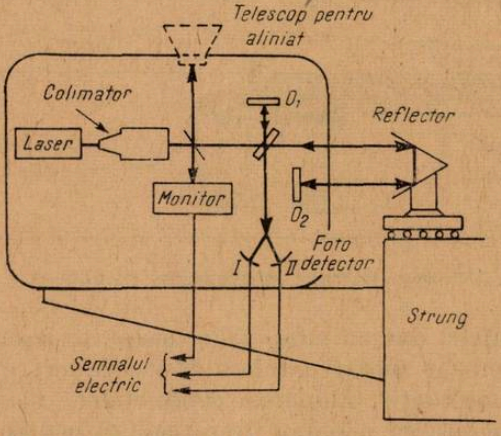


6. Schema interferometrului Michelson

Aceste complicații au fost înlăturate prin apariția laserilor. Un laser cu He—Ne, fără nici un fel de precauțiuni, emite o radiație care are în principiu o lungime de coerență (distanța pe care se poate face măsurătoarea) de cîțiva kilometri [10].

Principiul de bază al măsurării lungimilor prin metode interferometrice este ilustrat pe fig. 6, care arată binecunoscutul interferometru Michelson.

Interferometrul utilizînd ca sursă luminoasă laserul He—Ne a căpătat o largă utilizare nu numai în laboratoarele de cercetare ci și în uzine. Astfel el este aplicat pe mașinile unelte pentru măsurarea precisă



7. Schema interferometrului aplicat pe mașini unelte

a dimensiunilor pieselor ce urmează a fi prelucrate și cu precădere pe mașinile unelte cu program [11]. Schema unui astfel de interferometru este redată în fig. 7.

Pentru măsurarea lungimii, unitatea reflector legată de partea imobilă a mașinii unelte se va mișca de la un capăt la altul al distanței ce urmează a fi măsurată și se numără franjele care trec prin cîmpul de vedere al pupilei de ieșire a interferometrului.

Precizia de măsurare a lungimilor cu ajutorul unui interferometru cu laseri este de $\lambda/8$, adică de cel puțin 10^{-7} m.

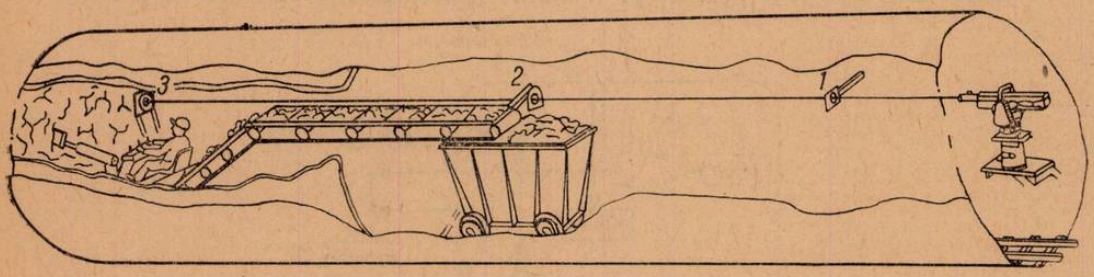
b. *Construcții industriale*

În aceste aplicații este folosită proprietatea laserului cu He—Ne de a emite un fascicul îngust și vizibil la distanțe de cîțiva kilometri.

În construcțiile de tuneluri laserul cu He—Ne are o construcție specială pentru a rezista la umezeală, trepidații datorită exploziilor din frontul de lucru. El este montat la intrarea tunelului în construcție și prin fasciculul luminos emis va indica direcția de avans a tunelului pentru un timp de cîteva luni. Fasiculul emis de laser este inițial orientat după indicații topometrice în direcția de avans a escavării. Fasciculul vizibil pe peretele frontului de lucru ușurează considerabil controlul permanent al direcției de avans mult mai simplu și mai precis decît metodele actuale fără a mai fi necesară întreruperea lucrului sau demontarea de schele.

Utilizarea laserului în acest tip de lucrări (fig. 8) înlătură un volum apreciabil de escavare suplimentară necesar pentru corectarea frecventă a direcției de avans, inevitabilă cu metodele actuale de control. În special beneficiază de aceste avantaje tunelurile lungi, în linie dreaptă, așa cum sînt tunelurile de aducțiune pentru hidrocentrale. Prin utilizarea unei tehnici speciale este posibilă aplicarea laserului la săparea tunelurilor de formă curbă.

La Institutul de fizică atomică s-a realizat un asemenea dispozitiv de aliniere cu laser He—Ne care a fost experimentat cu succes la Hidrocentrala Lotru și va fi multiplicat într-o mică serie în 1972 [12].



8. Utilizarea laserului în operațiuni de aliniere.

În mod similar, dar cu adaptările necesare, laserii cu He—Ne sînt aplicați actualmente în lucrări miniere de deschidere, pregătire și abataj, în lucrări de construcții (alinierea conductelor, plantarea stîlpilor de înaltă tensiune, plantarea pilonilor de rezistență pentru construcții industriale mari, construcția șoselelor și construcții de căi ferate), în lucrări de construcții care se efectuează pe fundul apelor (șanțuri, ziduri, piloni, etc.), pentru măsurarea precisă a deformațiilor structurale ale barajelor.

O largă aplicabilitate a căpătat-o în tehnicile optice pentru verificarea prelucrării suprafețelor, pentru verificarea omogenei'tăț cristalelor sintetice etc. O altă aplicație importantă a laserilor cu He—Ne o constituie utilizarea lor la măsurarea pierderilor mici de lumină a diferitelor componente optice după o metodă pusă la punct de cercetători români [13].

c. *Comunicații*

Acesta este un domeniu deosebit de discutabil, deoarece calitățile radiației laserilor fac ca aplicarea acestora în comunicații să producă o adevărată revoluție, însă cu tehnica actuală aceste posibilități deschise de laseri nu pot fi încă folosite.

Folosirea laserilor în comunicații este legată de faptul că ei oferă benzi de trecere foarte importante și că directivitatea radiației lor permite concentrații de energii mari într-un fascicul îngust.

Divergența extrem de redusă a fasciculului laser, îl face susceptibil de aplicații pentru comunicații la distanțe mari, utilizînd puteri de emisie mici. Calculele arată că un singur watt de putere emisă este suficientă pentru a asigura comunicațiile între pămînt și lună.

Importanța deosebită a laserului pentru comunicații terestre decurge din faptul că în timpurile noastre volumul informațiilor dintre diferite țări și orașe înregistrează o creștere considerabilă. Acest nou mod de a realiza telecomunicațiile pare cu atît mai interesant cu cît actualele emisii radio și televiziune, posturile de telefonie ocupă pînă la refuz întreaga gamă de frecvențe disponibile. Punerea în valoare a întregii game optice de frecvențe ar soluționa în mod radical problema comunicațiilor atît pe pămînt cît și în cosmos. Spre exemplu, valorificarea numai în proporție de 1% a frecvențelor din vizibil ar face posibilă transmiterea simultană a aproximativ un miliard de convorbiri telefonice și a cîteva zeci de mii de programe de televiziune, în timp ce sistemele actuale cu microunde asigură simultan abia 6.000 de convorbiri telefonice și 10 canale de televiziune. Avantajul folosirii laserilor în comunicații decurge din faptul că volumul de informații purtate de radiația laser este de 10^3-10^4 ori mai mare, deoarece unda purtătoare (radiația laser) este de 10^3-10^4 ori mai scurtă decît undele radio.

Transmisia undelor din domeniu vizibil în păturile atmosferice este influențată puternic de difuzie și de turbulență pe păturile de aer, pe cînd în spațiul cosmic aceste fenomene nu au loc. De aceea comunicațiile pe distanțe mari, în spațiul cosmic, vor fi ușor realizate cu ajutorul laserilor.

Încercările de comunicații terestre cu laserii cu He—Ne sînt numeroase. Rezultatele actuale sînt încurajatoare dar modeste.

e. *Holografie*

Ea a apărut în 1948 prin lucrările fizicianului englez Gabor, însă a căpătat o adevărată dezvoltare doar după apariția laserilor, prin lucrările lui Leith, Upatniecks, G. W. Strokes și Martiennsen. În momentul de față holografia s-a impus într-o serie de domenii ale tehnicii (microscopie, mașini electronice de calcul, studiul deformațiilor, prelucrarea optică a informațiilor, etc.).

Holografia este o tehnică de a produce imagini tridimensionale fără a interpune obiective sau alte sisteme optice. Ea constă din a înregistra pe o placă fotografică suprapunerea luminii de laser difuzată de obiectul ce urmează a fi holografiat și a luminii directe de la laser și după aceea se reproduc fronturile undelor de amplitudine și în fază, provenind de la obiect. Clișeul obținut, nu are nici o asemănare cu obiectul deși conține întreaga informație necesară pentru reproducerea acestuia.

Proprietățile cele mai importante ale hologramelor sînt: fiecare segment al hologramei este capabil să restituie întregul obiect, însă rezoluția imaginii este cu atît mai mică cu cît fragmentul este mai mic; pe aceeași placă fotografică se pot înregistra un număr relativ mare de holograme diferite (pe cîteva plăci putem înregistra o carte de cîteva sute de pagini).

BIBLIOGRAFIE

1. *A. Javan, W. R. Bennett Jr., D. R. Herriot* — Phys. Rev. Lettres *6*, 106, (1961).
2. *G. D. Boyd, J. P. Gordon*, B.S.T.J. *40*, 489, (1961).
3. *I. Agârbiceanu, A. Agafiței, L. Blănaru, V. Vasiliu* — lucrări interne IFA.
4. *L. E. Hargive, R. L. Fork, M. A. Pollack* — Appl. Phys. Letters *5*, 4 (1964).
5. *A. D. White, J. D. Rigden* — Appl. Phys. Letters *2*, 211 (1963).
6. *A. D. White, J. D. Rigden* Proc. I.R.E. *50*, 1697 (1962).
7. *I. Agârbiceanu, A. Agafiței, L. Blănaru*, N. J. Ionescu-Pallas, *I. M. Popescu, V. Vasiliu V. G. Velculescu* „Contributions a l'étude des lasers aux gaz" Al treilea Congres internațional de Electronică cuantică Paris 11—15 feb. 1963.
8. *W. B. Bridges, A. N. Chester* — Appl. Optics *4*, 573, (1965).
9. *A. L. Bloom, W. E. Bell, R. C. Rempel* Appl. Optics *2*, 317, (1963).
10. Lasers and their applications Sept. 1964 London.
11. Engineering Seminar on New Industrial Technologies at Pennsylvania State University (mai 1966).
12. *V. Vasiliu, A. Chetroiu, V. Pădureanu, D. Apostol, M. Ristici* Dispozitiv de aliniere cu laser He—Ne — St. Cerc. Fiz. (1972).
13. *L. Blănaru, A. Chetroiu, V. Vasiliu* St. Cerc. Fiz. 22, 831 (1970).

LASERUL CU BIOXID DE CARBON ȘI APLICAȚIILE SALE

N. COMANICIU, V. DRĂGĂNESCU și C. AXINTE

Introducere

Prima emisie laser la molecula de CO_2 a fost obținută de Patel [1] în 1964 în CO_2 pur, pe o serie de linii ale celor două benzi de vibrație rotație ale acestei molecule în domeniul 10 μ cu o putere de o zecime de miliwat. Aproape în același timp s-au obținut rezultate analoage în alte laboratoare [2] [3]. Astfel, F. Legay și N. Legay-Sommaire au pus în evidență posibilitatea obținerii unei bune inversii de populație în bioxidul de carbon utilizînd azotul excitat vibrațional și astfel s-a construit un laser cu o putere de cîțiva miliwatt. Perfecționînd procesul de activare, acești autori obțin la începutul anului 1965 o putere de 1 watt. În 1965 la Conferința de electronică cuantică de la Porto-Rico, Patel a anunțat atingerea unei puteri de 10 watt, [8], concentrată pe două linii de vibrație rotație. Această putere a fost obținută în amestec CO_2—N_2 cu circulație de gaz și excitare în curent continuu. Succese importante s-au realizat prin adăugarea la amestecul CO_2—N_2 și a heliului [5], prin adăugarea vaporilor de apă și răcirea tubului de descărcare. Adăugarea heliului a dus la atingerea unei puteri de peste 100 watt la sfîrșitul anului 1965.

Puterea maximă raportată pînă acum la laserul cu CO_2, în regim de undă continuă este de 8,8 KW [7] cu un randament energetic de peste 10%, pe un laser lung de 70 m.

Puterile optime atinse se limitează cam la 50 Watt/m ceea ce înseamnă că pentru obținerea unor puteri mari sînt necesare dispozitive foarte lungi, care sînt greu de realizat și aliniat.

În ultimii ani s-a dat o mare atenție creșterii puterii pe unitatea de lungime folosind combinarea a două sisteme de excitare a tubului laser [8], circulînd amestecul de gaze prin tubul laser cu o viteză supersonică [9], prin circularea transversală în circuit închis a amestecului de gaze, sau prin folosirea sistemului de detentă adiabatică pentru realizarea inversiei de populație, ceea ce a condus la realizarea laserului cu gaz dinamic [10]. În această acțiune de creștere a puterii pe unitatea de lungime mai amintim laserul lui Beaulieu [11], care funcționează în impulsuri la presiune atmosferică și laserul cu excitare electrică și detentă adiabatică al lui Lavarini și colaboratorii [12]. Sistemul descris în [8] duce la o putere de 200 Watt/m, iar sistemele din [9] dau 1 KWatt/m.

Experiența cîștigată prin realizarea primului laser cu CO_2 la noi în țară [13] a condus la punerea în funcțiune a unui model de laborator de laser cu CO_2, care emite o putere la funcționare în undă continuă de 80 watt [14]. Pe baza rezultatelor obținute s-a conceput laserul FC-150 W realizat în mică serie și un laser lung de 12 m, care emite o putere de 600 Watt [15].

Mecanismul de funcționare a laserului cu CO_2

Mediul activ în cazul laserului cu CO_2 poate fi constituit din CO_2 pur sau un amestec de CO_2 cu N_2, CO_2 cu He sau CO_2 cu N_2 și cu He.

Molecula de CO_2 este o moleculă liniar simetrică cu moment dipolar nul și aparține grupului de simetrie punctuală D_∞, avînd trei frecvențe normale de oscilație :

$\nu_1 = 1388{,}3\ cm^{-1}$ — oscilație de alungire simetrică
$\nu_2 = 667{,}3\ cm^{-1}$ — oscilație de deformare
$\nu_3 = 2349{,}3\ cm^{-1}$ — oscilație de alungire antisimetrică

Oscilațiile de deformare sînt dublu degenerate deoarece se pot produce oscilații cu aceeași frecvență în două plane ortogonale ce trec prin axele moleculei. Structura nivelelor de vibrație ale moleculei de CO_2 este determinată de setul de frecvențe : ν_1, ν_2, ν_3 de armonicele lor, precum și de compunerea frecvențelor. Nivelele corespunzătoare sînt însemnate cu combinația de numere cuantice v_1, v_2^l, v_3. Numărul cuantic l așezat la numărul v_2 se datorește degenerării duble a oscilației de deformare și capătă valorile

$$l = v,\ v-2,\ \ldots .\ 0 \text{ pentru } v_2 \text{ par}$$
$$l = v,\ v-2,\ \ldots\ 1 \text{ pentru } v_2 \text{ impar}$$

Nivelele cu $l = 0$ sînt nedegenerate iar cele cu $l > 0$ sînt dublu degenerate.

Pentru înțelegerea felului în care se produce inversia de populație prezentăm în figura 1 schema nivelelor de vibrație ale nivelului electronic fundamental al moleculei de CO_2, unde pentru simplificare au fost omise nivelele de rotație. Pe figură sînt indicate tranzițiile laser și schema laser apare ca la laserul cu patru nivele.

Moleculele din starea fundamentală sînt excitate electronic pe nivelul laser superior 00^01, apoi, după ce emit radiaţia laser, moleculele de pe nivelele laser inferioare 10^00 şi 02^0 se dezintegrează prin intermediul nivelului 01^10 înainte de a se întoarce pe starea fundamentală.

Inversia de populaţie se realizează între nivelul 00^01 şi nivelele 10^00 şi 02^00, lucru posibil datorită timpului de relaxare mai mare pentru nivelul 00^01. Pentru laserul cu CO_2, care funcţionează pe tranziţiile de vibraţie-rotaţie 00^01-10^00 şi 00^01-02^00 eficienţa cuantică maximă este 40%, respectiv 45%, ceea ce permite obţinerea unei eficienţe energetice practice de 20—30%.

În practică, pentru a atinge o asemenea eficienţă este necesar să fie îndeplinite două cerinţe importante:

a) excitarea cît mai selectivă a nivelului laser superior;

b) o moleculă, odată excitată pe nivelul laser superior să se dezexcite numai prin emisie stimulată pe tranziţia laser. Radiaţia laserului cu CO_2 este situată în infraroşu în jurul a 10 μ. Tranziţia 00^01-10^00 are loc la 10,59 μ, iar tranziţia 00^01-02^00 are loc la 9,4 μ.

În cazul amestecului $CO_2 + N_2 + He$, popularea nivelului 00^01 al CO_2 se realizează în principal prin transferul de energie de excitare vibraţională a azotului de pe starea electronică fundamentală către nivelul în cauză al moleculei de CO_2. Această excitare selectivă este foarte eficientă, dată fiind comportarea azotului în descărcarea în gaz la presiune joasă. Excitarea N_2^* ($v = 1, 2, \ldots$) se produce prin ciocniri cu electronii, recombinare ion-electron, recombinare atomică. Cum N_2 este o moleculă diatomică homonucleară nu are moment dipolar permanent şi astfel moleculele de azot excitate vibraţional pe starea electronică fundamentală nu se pot dezexcita prin radiaţie dipolară. În condiţii de laborator timpul

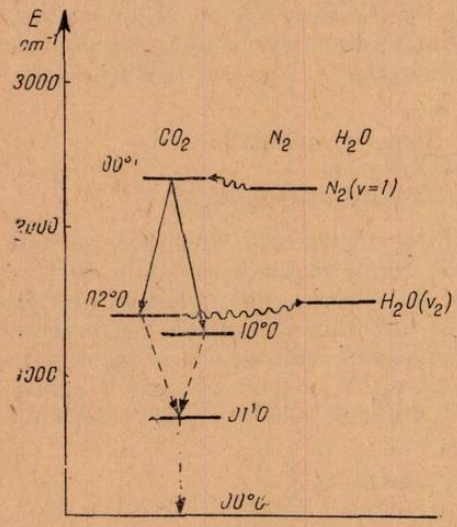


Fig. 1

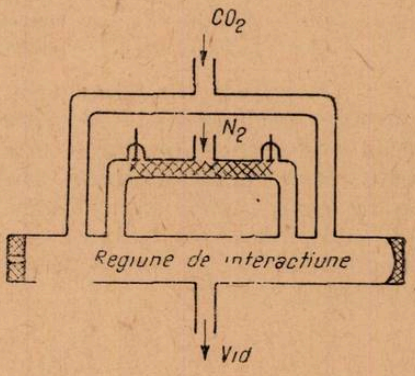


Fig. 2

lor de viaţă efectiv e determinat de dezactivarea prin ciocniri cu alte molecule şi pereţii tubului şi au ordinul de mărime 100 msec. Dată fiind secţiunea mare de ciocnire cu electronii, se pot atinge densităţi de populaţie $N^*(v = 1)$ considerabile. La descărcarea electrică în N_2, cam 10—

30% din molecule sînt în starea $N_2^*(v = 1)$; la presiuni ale azotului de cîţiva torri densitatea de populaţie $N_2^*(v = 1)$ este mai mare de 10^{15} cm^{-3}.

Pentru înţelegerea felului cum se face transferul de energie de excitaţie vibraţională de la $N_2^*(v = 1)$ la $CO_2(00^01)$ în figura 1 se prezintă schema nivelelor CO_2 şi N_2 în starea electronică fundamentală.

Un astfel de transfer se face după schema :

$$N_2^*(v = 1) + CO_2(00^00) \rightarrow N_2(v = 0) + CO_2(00^01) - 18\ cm^{-1}$$

Diferenţa de energie de 18 cm^{-1} este neglijabilă în comparaţie cu energia termică medie KT care este de 210 cm^{-1} la temperatura camerei, aşa că avem de-a face cu un transfer aproape rezonant.

În figura 2 este prezentat un dispozitiv laser cu care s-a pus în evidenţă emisia laser la CO_2 în amestec cu N_2 şi care confirmă procedeul descris mai sus.

Azotul este excitat într-un tub separat şi apoi este introdus în tubul laser unde interacţionează cu CO_2 şi se produce transferul de excitaţie, respectiv emisia laser.

Nivelele superioare excitate vibraţional ale N_2 pot contribui şi ele substanţial la popularea stării 00^01 a CO_2 după schemele :

$$N_2^*(v') + CO_2(00^00) \rightarrow N_2^*(v' - 1) + CO_2(00^01) \pm \Delta E$$
$$N_2^*(v') + CO_2(00^00) \rightarrow N_2(v' - v) + CO_2(00^0v) \pm \Delta E$$
$$CO_2(0^00v) + CO_2(00^00) \rightarrow CO_2(00^0v - 1) + CO_2(00^01) \pm \Delta E$$

Nivelele 10^00 şi 02^00 se dezexcită prin intermediul nivelului inferior 01^10 după schemele :

$$CO_2(10^00) + CO_2(00^00) \rightarrow 2\ CO_2(01^10) + 60\ cm^{-1}$$
$$CO_2(02^00) + CO_2(00^00) \rightarrow 2\ CO_2(01^00) - 50\ cm^{-1}$$

De remarcat că aceste reacţii sînt aproape rezonante, $\Delta E \leqslant kT$. Dezactivarea de pe nivelul 01^10 pe nivelul 00^00 se produce prin ciocniri conform schemei :

$$CO_2(01^10) + M \rightarrow CO_2(00^00) + M + KE$$

unde M este molecula (sau peretele) cu care se ciocneşte molecula $CO_2(01^10)$.

Adăugarea heliului ca al treilea gaz contribuie la dezexcitarea nivelului 01^10 deci la creşterea puterii laserului. Acelaş efect îl are molecula de H_2O introdusă ca al treilea gaz. În prezenţa heliului luminiscenţa descărcării este izolată în centrul tubului, reducîndu-se coeficientul de difuzie a moleculelor $CO_2(00^01)$ spre pereţii tubului şi deci se atenuează dezecitarea lor prin ciocniri la perete. De asemenea heliul modifică impedanţa descărcării şi permite creşterea curentului electric ce trece prin tubul de descărcare, la o creştere mică a tensiunii.

Tipuri de laseri cu bioxid de carbon

Laserii cu bioxid de carbon funcţionează în condiţii foarte variate atît în privinţa alimentării electrice, cît şi a regimului de curgere a gazelor care constitue mediul activ.

a) *Laserul cu funcţionare continuă.* Este reprezentat schematic în figura 3. Mediul amplificator gazos se găseşte plasat între două oglinzi care joacă rolul cavităţii rezonante de tip Fabry-Pérot. Doi electrozi interni permit excitarea amestecului gazos.

Puterea emisă de un astfel de laser prezintă un maxim pronunţat în funcţie de curentul din descărcare.

Alimentarea se poate face în curent alternativ sau continuu, domeniul de tensiuni şi curenţi necesari fiind de ordinul 10—15 kV şi 100—200 mA, pentru un tub de ordinul a trei metri lungime.

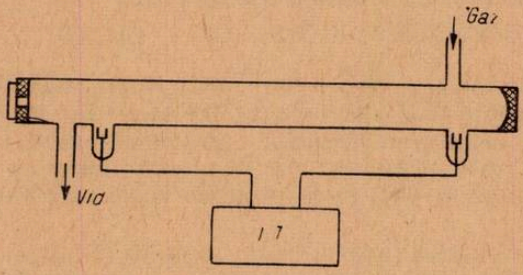


Fig. 3

Laserii cu funcţionare continuă se construiesc în mai multe variante, în raport cu scopul pentru care se utilizează. Astfel, atunci cînd se cer puteri mici dar stabile, se realizează laseri închişi, adică fără circularea mediului activ. Cînd se cer puteri mari, mediul activ, adică amestecul de gaze în care are loc descărcarea electrică este circulat fie în lungul tubului cum se întîmplă în majoritatea laserilor realizaţi pentru scopuri industriale, fie transversal cu viteze foarte mari, cum se întmplă în unele instalaţii realizate în ultima vreme, destinate creşterii puterii pe unitatea de lungime a mediului activ, aşa cum se poate vedea schematic în figura 4.

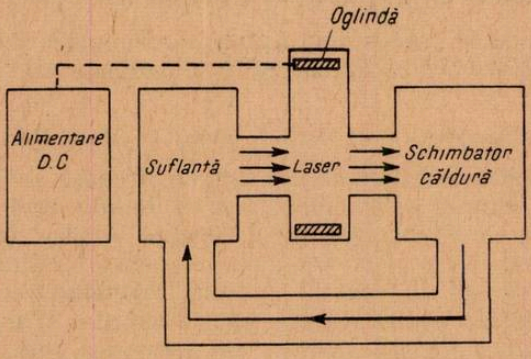


Fig. 4

b) *Laseri cu funcţionare în impulsuri.* Dacă un laser de tipul acelor prezentaţi mai sus este alimentat în impulsuri la tensiuni de ordinul a 10 kV şi curenţi de vîrf de ~1 A, se obţine un laser cu funcţionare în impulsuri, adică un laser care emite energia sub forma unor impulsuri de putere foarte mare şi cu o durată foarte scurtă. Un laser care la alimentarea continuă emitea să zicem, 12 W, alimentat în impulsuri la tensiuni de 10 kV şi curenţi de 1 A, va emita un impuls cu o putere de 1 kW, cu o lărgime a impulsului de ~150 μs şi cu o cadenţă mare de repetiţie, puterea medie fiind de ~9 W. Se pare că raportul între puterea de vîrf şi puterea continuă obţinută cu acelaş laser este de circa 100.

Ca performanţe au fost obţinute pulsuri de 24 joules şi puteri de vîrf de 3,6 MW, la presiuni de 0,1 atmosfere [16].

În Canada s-a anunţat realizarea unui laser cu CO_2 pulsat, care funcţionează la presiunea atmosferică şi produce pulsuri în domeniul 10—100 MW, cu energia de puls de ordinul a 10 joules [11], iar la Marcoussis, Franţa s-a raportat realizarea a 130 joules într-un puls de 2 microsecunde de la un laser cu CO_2 [17].

c) *Laseri cu funcţionare declanşată.* Timpul de viaţă al nivelului laser superior este de obicei de ordinul milisecundelor. Astfel, energia poate fi înmagazinată în descărcarea în gaz timp de milisecunde. Dacă

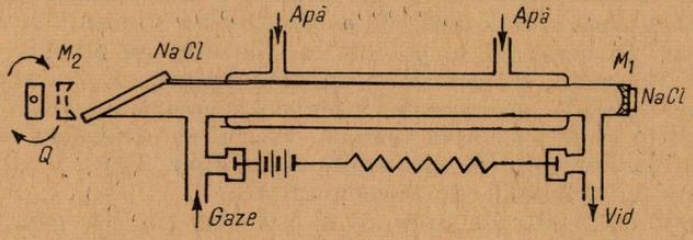


Fig. 5

această energie poate fi extrasă de la mediu într-un timp scurt, în comparaţie cu timpul de viaţă al nivelului laser se obţine funcţionarea declanşată a laserului, în care emisia laser are forma de impulsuri scurte, puterea emisă în maxim fiind considerabil mai mare decît puterea emisă continuu de un astfel de laser.

Atunci cînd se închide una din extremităţile tubului laser cu o fereastră de clorură de sodiu sub incidenţă brewsteriană ca în fig. 5, se poate provoca o funcţionare în laser declanşat, dacă oglinda situată după această fereastră se roteşte cu o viteză foarte mare (20.000 rot/min.). În acest fel au fost obţinute emisiuni de vîrf de ordinul zecilor şi sutelor de kW cu durate de impulsuri de ordinul nanosecundelor.

Laserul reprezentat schematic în figura 5 produce o putere de 10 W la funcţionare continuă, iar la funcţionarea declanşată a dat 10 kW în pulsuri de 300 nanosecunde, la o rotire a oglinzii Q de 120 rot/secundă

Laseri cu CO_2 realizaţi la noi în ţară

Primul laser cu CO_2 realizat la noi în ţară, la Institutul de Fizică Atomică era de tipul laserilor cu funcţionare continuă şi emitea o putere de 10 W [13]. Al doilea care a urmat în ordine cronologică era de acelaşi tip, dar mai mare, emiţînd o putere de 80 W [14]. Au urmat alte variante, care în final au condus la realizarea unui laser de tip industrial, care emite o putere de ~150 W şi care a fost realizat într-un lot de 9 bucăţi pînă în prezent. De asemenea, a fost pus în funcţiune în anul 1970 un laser cu CO_2 de 12 m lungime, care emite o putere de ~600 W în funcţionare continuă [15].

În afară de aceste tipuri cu funcţionare continuă, au fost realizaţi şi laseri din categoria celor excitaţi în impulsuri sau în regim declanşat [18], ca şi laseri care funcţionează fără circulaţie de gaz.

Dispunem în prezent, la nivel de instalaţii de laborator sau uneori de prototip, de toate tipurile mai importante de laseri cu bioxid de carbon, astfel că pot fi abordate o multitudine de aplicaţii ale acestui laser atît în ştiinţă cît şi în tehnică.

Aplicaţiile laserilor cu bioxid de carbon

Aplicaţiile laserilor cu bioxid de carbon se bazează pe proprietăţile specifice ale fasciculului emis de acest tip de laser. Astfel, puterea mare a fasciculului emis, sugerează utilizarea directă a lui ca sursă de energie foarte puternică, ce poate fi manevrată după dorinţă şi intensificată încă, prin utilizarea unui sistem optic de concentrare a fasciculului de radiaţie într-un focar. În acest fel se pot obţine densităţi de energie de ordinul 10^7 W/cm^2. Coerenţa, directivitatea şi monocromaticitatea sînt proprietăţi cu totul speciale ale radiaţiei laser şi generează un gen deosebit de aplicaţii atît în ştiinţă cît şi în tehnică. Faptul că atmosfera este practic transparentă în domeniul în care emite acest laser (10 μ), îl face deosebit de interesant în aplicaţiile de telecomunicaţii.

Întrucît domeniile de aplicare a laserului cu CO_2 sînt extrem de variate şi de numeroase, în cele ce urmează ne vom limita la a enunţa cîteva dintre ele, fără a considera că acestea sînt cele mai importante, întrucît timpul scurt de la descoperirea acestui tip de laser nu a permis ca direcţiile sale principale de aplicabilitate să fie suficient de bine conturate.

a) *Spectroscopie moleculară cu laserul cu CO_2.* Utilizarea ca sursă de lumină infraroşie într-o experienţă de absorbţie moleculară a unui laser cu CO_2 permite măsurarea directă a coeficientului de absorbţie al gazului de studiat pentru fiecare linie de vibraţie-rotaţie a tranziţiei laser. Primul studiu de acest fel se referă la absorbţia în CO_2 [19]. După CO_2 au fost făcute experienţe de fluorescenţă la amoniac [20]. Radiaţiilor P_{18}, P_{20} şi P_{22} ale CO_2 le corespund linii foarte apropiate la amoniac gazos. Dacă se trimite printr-o cuvă cu amoniac gazos un fascicul laser, apare o luminiscenţă galbenă însoţită de o emisie puternică la 10 μ şi una mai slabă la 3 μ. Luminiscenţa galbenă apare la o presiune de 10 cm col Hg şi creşte cu creşterea presiunii, ea creşte de asemenea cu puterea radiaţiei incidente pe cuvă.

b) *Diagnosticarea plasmei cu laserul cu* CO_2 [*21*]. Dacă un fascicul de lumină traversează o regiune în care se află o plasmă, deplasarea de fază, pe unitatea de lungime, produsă de electronii liberi, este proporţională cu lungimea de undă. De asemenea raportul contribuţiilor la deplasarea de fază produsă de electronii liberi şi de particulele neutre este cel puţin proporţional cu patratul lungimii de undă folosite. În acest sens, folosirea lungimii de undă de 10,6 μ a laserului cu CO_2 pare o soluţie atractivă.

c) *Laserul cu CO_2 în telecomunicaţii.* Întrebuinţarea fasciculului laser oferă transmisiei de informaţii avantaje semnificative în raport cu comunicaţiile în radiofrecvenţă, avantaje care se bazează pe caracteristicile radiaţiei laser, avînd în plus o frecvenţă mult mai mare (10^4 ori) faţă de undele radio şi microundele utilizate pînă în prezent în comunicaţii. Prin utilizarea undelor optice, creşte volumul de informaţie, deoarece cantitatea de informaţie care poate fi transmisă este proporţională cu frecvenţa undei purtătoare.

Problemele fundamentale legate de comunicațiile cu laseri și de a căror rezolvare depinde introducerea pe scară largă (telefonie, radio, televiziune) a laserului în comunicații sînt: propagarea atmosferică, stabilizarea în frecvență și amplitudine, modularea (în amplitudine și frecvență) pe lărgimi de bandă de ordinul MHz, detecția, etc.

Cercetarea radar optică și problemele de urmărire cu fascicul laser sînt strîns legate de cele de comunicații și s-au obținut rezultate promițătoare și în acest domeniu.

d) *Prelucrarea materialelor cu laserul cu* CO_2. Introducerea laserului în domeniul prelucrării materialelor și apariția aplicațiilor sale industriale a fost condiționată de anumite avantaje pe care le prezintă un astfel de procedeu față de metodele convenționale. Un fascicul laser focalizat are anumite caracteristici care-l fac utilizabil în diferite operațiuni de prelucrare a materialelor. Aceste caracteristici sînt:

— diametrul fasciculului laser focalizat poate fi variat pe un domeniu larg, permițînd un control al densității de putere;

— folosirea fasciculului focalizat la limita de difracție permite realizarea unor tăieturi extrem de înguste și limitează distrugerea termică a zonelor în vecinătate;

— efectul de tăiere este izotrop în planul perpendicular pe axa fasciculului, permițînd tăieri în toate direcțiile precum și la unghi drept;

— fasciculul nu exercită o forță fizică asupra piesei de lucru, permițînd prelucrarea materialelor fragile, cu viteze ridicate;

— fasciculul poate fi manipulat la viteze mari;

— fasciculul poate fi trecut prin ferestre transparente în incinte vidate, pentru a efectua operațiuni sub vid;

— fasciculul poate fi comutat cu mare viteză și mare precizie;

— fasciculul laser nu prezintă pericolul de contaminare fiind chimic pur.

Gradul de interacțiune dintre fasciculul laser și diferitele materiale care se prelucrează cu laserul este dictat de următoarele caracteristici ale materialului:

— reflectivitatea suprafeței ca funcție de lungimea de undă;

— absorbția de volum ca funcție de lungimea de undă;

— difuzia termică;

— punctul de topire al materialului și oxizilor săi;

— temperatura de aprindere și energia de reacție;

— rezistența la șocuri termice;

— neregularitățile superficiale și în volum.

Radiația laserului cu CO_2 de la 10 μ este în general absorbită de materiale dielectrice, izolatori și este reflectată destul de mult de metale. Astfel, aluminiul și cuprul nu se pretează la prelucrarea cu laserul cu CO_2, datorită reflectivității lor ridicate.

Dintre operațiile de prelucrare a materialelor care se pot realiza, cu laserul cu CO_2 amintim: creșterea de cristale sau de rubin [22], depunerea în vid a unor materiale, sferoidizarea oxizilor refractari [23]i tăierea de pelicule subțiri de carbon depuse pe suporți plani sau cilindrici [24] destinate realizării de rezistențe electrice, sudura materialelor metalice subțiri, tăierea și sudarea cuarțului. În domeniul materialelor ceramice introducerea laserului cu CO_2 a permis punerea la punct a metodei de fracturare controlată a acestora. Tăierea și găurirea metalelor este un

cîmp vast de utilizare a laserului cu CO_2 mai ales cînd acesta este asociat cu un jet puternic de oxigen.

d) *Utilizarea laserului cu* CO_2 *în medicină.* Acest gen de aplicaţii se află în prezent în fază experimentală.

Absorbţia mare a radiaţiei de 10,6 μ de către ţesuturi, împreună cu puterea mare a acestor laseri cu funcţionare continuă, ca şi faptul că radiaţia laser poate fi focalizată într-o pată de ardere mică, permit iradierea ţesuturilor în aşa fel încît un mic volum este ars şi evaporat rapid. Este ceea ce se cunoaşte sub denumirea de disturiu laser. O altă direcţie a chirurgiei cu laserul cu CO_2 este înlăturarea ţesuturilor canceroase prin arderi şi evaporări rapide.

★

Cîmpul aplicaţiilor laserului cu CO_2 este extrem de vast şi se poate aprecia că el se va extinde şi mai mult în anii următori, odată cu pătrunderea laserilor în cît mai multe domenii de activitate, la început în mod experimental, ca mai tîrziu să poată fi puse la punct adevărate procedee tehnologice noi care să includă în lanţul lor, laserul cu bioxid de carbon

BIBLIOGRAFIE

1. *Patel, C. K. N.*, Phys. Rev., 136 A, 1187, (1964).
2. *Legay-Sommaire, N, L. Henry, F. Legay*, Compt. rend. 260, 3339, (1965).
3. *Bârchewitz P.* et all, Compt. rend. 260, 3581, 5491, (1965).
4. *Patel, C. K. N.*, Appl. Phys. Letters, 7, 15, (1965).
5. *Moeller G., J. D. Rigden*, Appl. Phys. Letters, 7, 274, (1965).
6. *Bridges T. J., C. K. N. Patel*, Appl. Phys. Letters, 7, 244, (1965).
7. *Harrigan F. A.*, et all., V.S. Gov. Res. Develop. Repts, 68 (23) 145 (1968).
8. *Crocker A., M. S. Wills*, Electronics Letters 5 (4) 63 (1969).
9. *Deutsch T. F.*, et all., Appl. Phys. Letters; 15, 88, (1969).
10. *Gerry E. T.*, Laser Focus 27 Dec. 1970.
11. *Beaulieu A. J.*, Appl. Phys. Lett., 16, 504, (1970).
12. *Lavarini B.*, et all., Compt. rend. 272 B (5) 335 (1971).
13. *Berenyi C., M. Bârlogeanu, V. G. Velculescu*, Rev. Roum. Phys. 13, 189 (1968).
14. *Agârbiceanu I., A. Agafiţei, L. Blănaru, V. Drăgănescu, I. M. Popescu, V. Vasiliu*, Rev. Roum. Phys. 13, 175 (1968).
15. *Drăgănescu V., C. Axinte, N. Comaniciu, D. Duţu*, Studii şi Cercetări de Fizică (spre publicare).
16. *Dezenberg G. J.*, IEEE J. Quantum Electronics, QE-6, nr. 10, 652 (1970).
17. *Dumanchin R., J. C. Farey, J. Michon, J. Rocca Serra*, în Proceedings of the Sixth International Quantum Electronics Conf., Kyoto, Japan (1970).
18. *Agârbiceanu I., I. M. Popescu, Al. Ciurea, Al. Niţoi, P. Cristea* Rev. Roum. Phys. 15, 395, (1970).
19. *Rossetti C., P. Barckewitz*, Comptes rendus, T 262 B, 1199 (2 mai 1966).
20. *Bordé C., A. Henry, L. Henry*, Compt. Rend., T. 262 B, 1389 (1966).
21. *Maignan J., E. Fabre, P. Vasseur*, Phys. Letters, 26 A (3) 135 (1 ian. 1968).
22. *Gasson D. E., B. Cockyane*, Journal of Material Science 5 (2) 100 (1970).
23. *Nelson L. S.*, et all. Journal of Amer. Ceramic Soc. 53 (2), (1970).
24. *Siekman J. G.*, et all. M.G.J. Knapen, Electronics and Reliability, 8, 87, (1969).

LASERI IONICI

C. BERÉNYI, MARIA BÂRLOGEANU

Introducere. Laserii cu gaze ionizate — pe scurt laserii ionici — constituie un capitol aparate în contextul mai general al laserilor cu gaz, datorită proprietăţilor particulare ale plasmei mediului activ şi ca urmare a unor probleme tehnologice mai dificile care apar la construcţia lor.

Laserul ionic a fost descoperit în 1964 de către Bell [1] care a observat liniile verde şi oranj ale mercurului odată ionizat. La scurt timp după aceasta, Bridges [2], Convert şi col. [3], şi Bennett şi col. [4] au obţinut cîteva linii laser intense în domeniul spectral albastru-verde al argonului ionizat. În prezent, numărul liniilor laser ale gazelor ionizate este de cîteva sute şi aparţin gazelor nobile, unor metale, oxigenului, azotului şi carbonului odată sau multiplu ionizate. Liniile sînt grupate în domeniul galben-albastru al spectrului la ionizarea simplă şi în u.v. la ionizarea multiplă.

Deoarece din punct de vedere practic şi al aplicaţiilor, laserul cu argon ionizat prezintă cel mai mare interes, cele mai multe lucrări teoretice şi experimentale au apărut în legătură cu acesta. Şi preocupările noastre în IFA s-au concentrat mai ales pentru realizarea laserului cu argon ionizat.

Parametri de funcţionare ai laserului cu argon ionizat cu funcţionare continnă ,[5—6]. Pragul emisiei laserului ionic cu argon se obţine numai dacă se îndeplinesc două condiţii severe puse descărcării electrice (evident şi condiţia unui rezonator optim trebuie să fie îndeplinită):

1. Densitatea curentului j de descărcare trebuie să fie foarte mare, $j \geqslant 50$ Acm^{-2}, (1) proprie descărcărilor în regim de arc electric.

2. Presiunea gazului, p trebuie să aibă o valoare mică: $p = 10^{-1}$ torr (2)

În figura 1 se vede cît de critică este valoarea presiunii la laserul cu argon ionizat. Pentru un tub de descărcare cu un diametru dat şi un

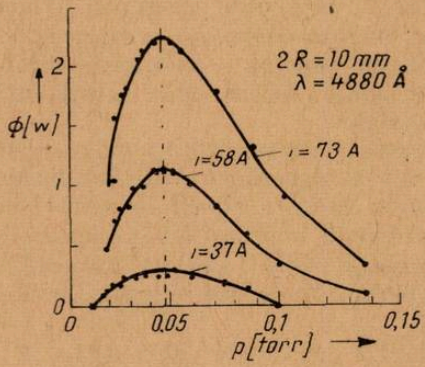


Fig. 1

curent de descărcare dat, există o presiune optimă la care puterea laser emisă este maximă. Puterea laser scade vertiginos pînă la încetarea emisiei laser, la variaţii mici ale presiunii de la valoarea optimă.

Fig. 2 dă variaţia presiunii optime în funcţie de diametrul tubului după relaţia experimentală :

$$pR = 2{,}5\ 10^{-2}\ \text{Torr. cm} \qquad (3)$$

unde p este presiunea optimă şi R raza tubului de descărcare. Din fig. 1 se mai vede că presiunea optimă nu depinde de curentul de descărcare.

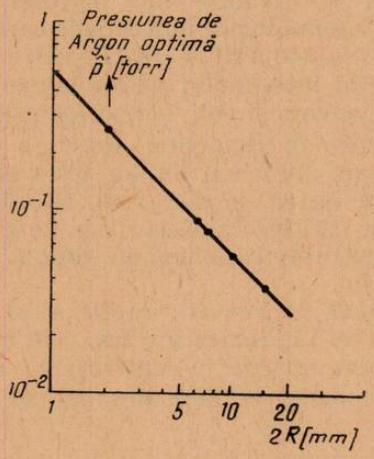


Fig. 2

Proprietăţile descărcărilor în regim de arc electric la presiuni aşa de mici şi densităţi de curent aşa de mari şi valorile parametrilor plasmei respective nu au fost studiate înainte de apariţia laserilor ionici. Abia în ultimul timp s-au efectuat studii teoretice şi experimentale pentru elucidarea cantitativă a proceselor elementare care au loc într-o astfel de descărcare. Rezultatele acestor cercetări nu le vom expune aici. [7, 8]

Revenind la parametri de funcţionare ai laserului cu argon ionizat trebuie să remarcăm că condiţiile de prag de mai sus, pun catodul şi tubul de descărcare în faţa unor pretenţii extreme :

1. Catodul trebuie să asigure o emisie termoelectronică continuă de zeci de amperi şi — pe cît posibil — să reziste timp cît mai îndelungat bombardamentului ionic intens care există într-un astfel de regim de descărcare electrică.
2. Tubul de descărcare să poată suporta şocuri termice de sute de watt/cm² şi de asemenea să nu se deterioreze sub bombardamentul ionic intens.

S-au experimentat diferite tipuri de catozi ca de exemplu catozi goi cu încălzire directă (sub bombardament ionic) din diferite materiale, catozi din B_6La sinterizaţi şi alţii. Cei mai răspîndiţi catozi în prezent la laserii ionici sînt din ţesături metalice impregnate cu substanţe de activare şi încălzire indirectă.

Datorită condiţiilor enunţate mai sus, la construcţia tubului de descărcare pentru laserii ionici s-au impus trei variante principale : 1. tuburi din capilar de cuarţ ; 2. tuburi din cuarţ cu diametru mare prevăzute cu segmenţi din diferite materiale, dintre care cel mai folosit este grafitul ; 3. capilare din ceramică.

În fig. 3 şi 4 sînt schiţele a două construcţii de laser cu argon ionizat realizate la IFA, corespunzătoare variantelor 1 şi 2, [9].

Bobinele magnetice ce înconjoară tubul de descărcare au rolul de a proteja pereții tubului de descărcare prin confinarea plasmei descărcării în jurul axului longitudinal al tubului. Datorită densităților de curent de descărcare foarte mare la laserii ionici, în tubul de descărcare apare

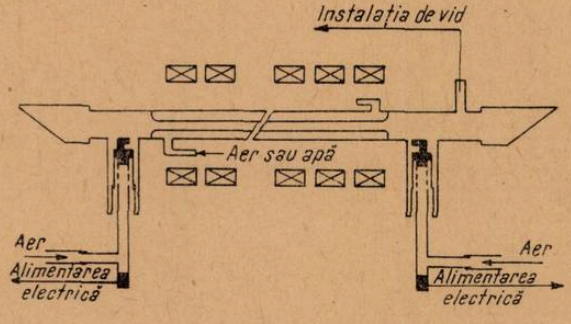


Fig. 3

un gradient de presiune pe direcția cîmpului electric longitudinal, care duce la instabilitatea descărcării. Compensarea acestuia se face fie printr-un canal de recirculație a gazului între partea anodică și catodică a tubului laser, fie printr-un circuit deschis al gazului de la un rezervor

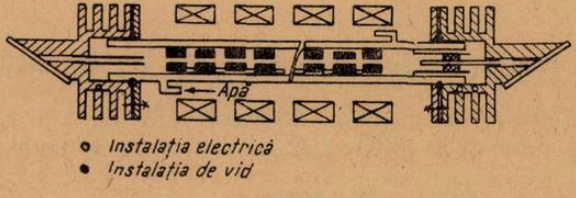


Fig. 4

spre pompa de evacuare, menținîndu-se evident presiunea optimă în tubul de descărcare.

Randamentul laserilor ionici este mic ($\sim 10^{-3}$), puterea laser emisă poate atinge totuși valori foarte mari (peste 100 W continuu). Puterea laser emisă la laserii ionici depinde de mai mulți factori: 1. Presiunea gazului (fig. 1); 2. Volumul mediului activ; 3. Intensitatea curentului de descărcare; 4. Cîmpul magnetic longitudinal.

Creșterea puterii laser emise, peste anumite valori, prin creșterea volumului mediului activ se izbește de dificultăți principiale. Mărirea puterii laser emise se poate face prin mărirea intensității curentului de descărcare conform relației de proporționalitate:

$$P \sim i^2 \tag{4}$$

unde P este puterea laser emisă și i intensitatea curentului. Dependența (4) este reprezentată pentru un caz concret în fig. 5. Evident puterea laser emisă nu poate fi crescută la nesfîrșit prin creșterea curentului de descărcare. Acest lucru se datorește dependenței inversiei de populație de curentul de descărcare, ori valoarea inversiei de populație are limite fizice

Se mai poate crește puterea laser emisă prin alegerea unui cîmp magnetic longitudinal optim. În fig. 6 este reprezentată grafic contribuția cîmpului magnetic la creșterea puterii laser emise. Cîmpul magnetic

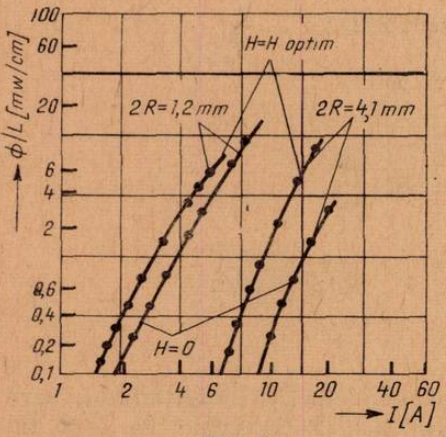


Fig. 5

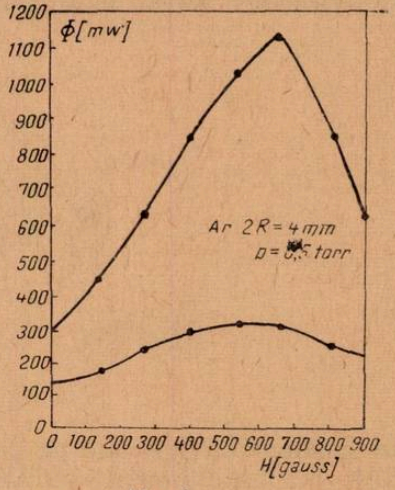


Fig. 6

optim depinde de diametrul tubului de descărcare. Creșterea de putere realizată astfel este semnificativă numai la tuburile de descărcare cu diametrul mic.

Realizarea iversiei de populație la laserul cu argon ionizat.

Spre deosebire de alte tipuri de laseri (de ex. He—Ne, CO_2, corn solid etc.) laserii ionici și în particular cel cu argon ionizat, emit simultad

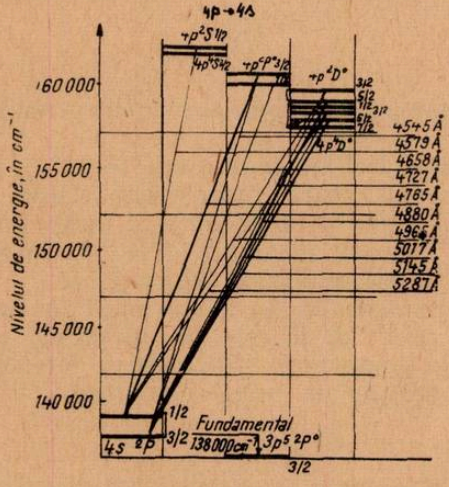


Fig. 7

pe mai multe linii. Dacă vrem ca el să emită pe o singură linie, atunci se folosesc sisteme dispersive, pentru selectarea liniilor, plasate în interiorul sau în exteriorul cavității rezonante. În fig. 7 este dată schema de

nivele corespunzătoare liniilor laser ale argonului o dată ionizat. Aportul în energie al acestor linii laser în procente față de puterea totală emisă este dată în tabelul 1.

Tabelul I

lung. de undă [Å]	puterea emisă în %
4579	1,25
4650	0,75
4727	0,75
4765	3,00
4880	45,00
4965	3,00
5017	1,25
5245	45,00

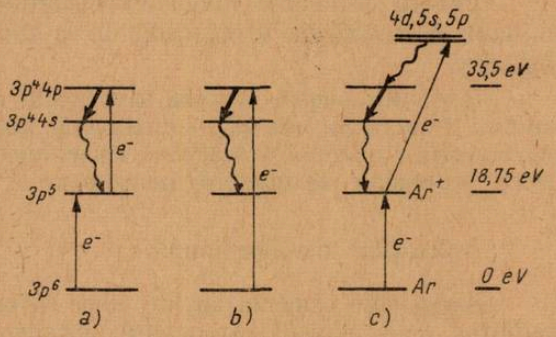


Fig. 8

După cum s-a văzut în primul capitol, radiația laser ia naștere numai în urma unui proces fizic numit inversie de populație. Mediul material care servește ca suport acestui proces se numește mediu activ. Deși mecanismul prin care se realizează inversia de populație diferă la diferite tipuri de laseri, pentru elucidarea lui trebuie să răspundă la două întrebări: 1. Ce procese asigură pomparea pe nivelul laser superior și, (Fig. 8). 2. Ce procese duc la distrugerea populației de pe nivelul inferior.

Pentru laserul cu argon ionizat un răspuns sigur la punctul 2 a fost dat în lucrarea lui Statz și col. [10] în care s-a stabilit că timpul de viață al nivelelor laser inferioare este mult mai mic decît timpul de viață al nivelelor laser superioare. Dacă vitezele de pompaj pe cele două nivele laser nu diferă prea mult, atunci există posibilitatea realizării inversiei de populație prin tranziții intense de pe nivelul laser inferior pe nivelul ionic fundamental.

Un răspuns cert la punctul 1 nu s-a dat încă la laseri ionici. Prezentăm aici cîteva din ipotezele care s-au făcut în problema pompării pe nivelul laser superior [4], [11]:

a) Excitarea nivelului laser superior, corespunzătoare configurației 4 p, a argonului ionizat se produce în două etape (fig. 8 a). (În figură nivelele laser sînt desenate cu o singură linie orizontală corespunzătoare configurațiilor 4 p pentru nivelul superior și 4 s pentru nivelul inferior):

$$1.\ Ar + e \rightarrow Ar^+ + 2\,e$$

$$2.\ Ar^+ + e \rightarrow (Ar^+)^* + e$$

Unde Ar^+ = argon ionizat și $(Ar^+)^*$ = argon ionizat excitat. Adică excitarea nivelelor configurației 4 p se produce mai ales de pe nivelul fundamental al ionului.

b) Pomparea pe nivelele laser superioare ale argonului ionizat se produce pe seama unui proces cu doi electroni:

$$Ar + e \rightarrow (Ar^+)^* + 2e$$

Adică desprinderea simultană a electronului de atomul de argon și excitarea nivelelor laser superioare ale argonului ionizat. (fig. 8 b).

Prima ipoteză este susținută de dependența aproximativ pătratică a radiației spontane a tranzițiilor laser ale argonului ionizat, față de densitatea curentului de descărcare.

Pentru popularea nivelelor configurației 4 p pot juca un rol determinant și tranzițiile în cascadă de la nivelele ns ($n > 4$) și nd ($n > 3$) fig. 8 c.

Care din aceste ipoteze sau altele este veridică încă nu se poate spune. Pentru o analiză cantitativă mai sînt necesare studii asupra parametrilor plasmei descărcării laserului cu argon ionizat și asupra vitezelor proceselor de ciocnire neradiative.

Aplicațiile laserilor ionici.

Aplicațiile oricărui tip de laser se bazează pe faptul că parametri radiației laser emise — frecvență, intensitate, lărgime de bandă, direcționalitate, posibilitatea modulării în impulsuri, polarizarea — au valori cu totul ieșite din comun. Valorile parametrilor radiației laser nu sînt identice, ci variază între anumite limite de la laser la laser. Se poate face o ordonare a aplicațiilor laserilor fără să ținem seama de valorile concrete ale parametrilor, după cum urmează:

a) încălziri locale curente (uzinaj fotonic, coagulări, microsuduri ale retinei și microsuduri ale microcircuitelor electronice, reacții termonucleare, etc.).

b) măsurători de distanță (distanța pămînt-lună cu o precizie de circa 20 cm).

c) efecte neliniare (armonice, parametrice, difuzii stimulate, etc.).

d) holografie.

e) comunicații.

Deși laserul ionic se folosește în toate domeniile de mai sus, cele mai multe aplicații ale lui se referă la studii de spectroscopie (spectroscopie moleculară, spectroscopie Raman, spectroscopie de fluorescență).

Spectroscopie moleculară. S-a verificat faptul că prin absorbția lumii laser, multe tipuri de molecule pot fi aduse într-o stare energetică excitată. Deoarece o moleculă poate absorbi energie atît sub formă de vibrație sau rotație a nucleului său cît și sub formă de energie de excitare a învelișului electronic, există foarte multe stări energetice care pe scara energiilor sînt vecine. De aceea cu metodele de excitare clasice se vor excita de obicei simultan mai multe stări. Datorită faptul că lărgimea spectrală a liniei laser este mică, se poate obține ca energia fotonului laser să coincidă numai cu o singură tranziție moleculară. Adică să se populeze numai un singur nivel excitat în moleculă, care datorită marei intensități la liniei laser să fie populat cu o mare probabilitate. Timpul de viață a acestor stări excitate este de 10^{-6} —10^{-9} sec., timp după care de cele mai multe ori apare reemisia de fluorescență. Lumina fluorescentă este deplasată spre roșu datorită pierderilor sub formă de energie de vibrație și rotație. Timpul de viață pe starea excitată fiind scurt, fluorescența apare în același loc unde s-a produs excitarea, chiar dacă proba este sub formă de vapori la presiuni joase. Din măsurători de lungimi de undă ale acestor linii de fluorescență se obțin informații asupra energiilor stărilor de vibrație și nivelelor de rotație ale moleculei, iar de aici distanțele nucleare în moleculă și energiile de legătură.

Cum am văzut laserul cu argon ionizat emite pe 6—10 linii în domeniul verde-albastru al spectrului. Astfel cu un singur laser se pot obține tot atîtea spectre de fluorescență, deci multe informații asupra moleculei. Dacă se măsoară intervalul de timp dintre absorbția unui foton laser și apariția fluorescenței, se obține timpul de viață al stării excitate. O metodă pentru măsurarea acestui interval de timp se bazează pe faptul că fascicolul laser poate fi modulat la o frecvență foarte înaltă (18 Mc/sec). În felul acesta și lumina de fluorescență este modulată, dar faza modulației este deplasată față de lumina de excitație. Această defazare este o măsură a timpului de viață al moleculei excitate. În acest fel se pot măsura timpii de viață cu o precizie mai mare de 10^{-10} sec.

Un al treilea grup de experiențe se referă la studiul proceselor de ciocniri. Dacă se crește presiunea gazului absorbant sau se adaugă alte gaze moleculelor cercetate, atunci în timpul de viață scurt al moleculei excitate se produc ciocniri cu alți atomi sau molecule, prin absorbție Astfel o parte a energiei este cedată partenerului la ciocnire, iar spectrul de fluorescență se modifică. Aceste modificări spectrale dau informații asupra proceselor de ciocnire.

Spectroscopia Raman. Nu vom descrie aici efectul Raman, care este bine cunoscut, ci vom relata avantajele remarcabile în spectroscopia Raman, prin folosirea laserilor cu argon ionizat. La toate aceste experiențe nu trebuie uitat faptul că fascicolul laser nu trebuie colimat sau trecut prin sisteme optice, care pe lîngă alte desavantaje aduc și o pierdere considerabilă de energie, fascicolul laser este colimat.

Se știe că obținerea unor rezultate bune în spectroscopia Raman depinde foarte mult de intensitatea și puritatea spectrală a sursei de lumină utilizată. De la descoperirea efectului Raman în 1928, ramura respectivă a spectroscopiei care a luat naștere, s-a dezvoltat astăzi ca un instrument foarte eficace și util al cercetărilor moleculare. Intensitatea foarte mică a liniilor Raman și intensitățile foarte mari de difuzie, respectiv raportul semnal-sgomot mic, sînt factori care limitează utilizarea spectroscopiei Raman. În comparație cu spectroscopia IR și ea relativ slabă în ceea ce privește intensitatea liniilor, liniile Raman sînt mult mai slabe, fapt care obligă creșterea timpilor de iluminare la ordinul orelor sau zilelor. Se știe de asemenea că intensitatea liniilor Raman poate fi mărită prin utilizarea surselor de lumină intensă și cu frecvența radiației, mare. Sursa clasică de lumină în spectroscopia Raman este lampa cu mercur.

Apariția laserului cu argon ionizat a scos spectroscopia Raman din impasul datorat cauzelor de mai sus, observîndu-se în ultimul timp un adevărat reviriment în acest domeniu de investigație. Față de sursa clasică, laserul are avantajul că produce densități mari de energie într-un volum relativ mic al materialului activ Raman, un grad înalt de polarizare a radiației, o lărgime spectrală foarte mică a liniei. Laserul cu argon ionizat, față de alți laseri gazoși, de ex. față de laserul He—Ne, oferă avantajul unei puteri de multe sute de ori mai mare, un număr mai mare de linii care se găsesc la o lungime de undă mică. Dacă se cercetează substanțele transparente în u.v., atunci se poate utiliza emisia în u.v. a laserului cu argon ionizat, care datorită frecvenței mari duce la creșterea intensităților liniilor Raman. Și în acest caz laserul cu argon ionizat prezintă un mare avantaj. Pe lîngă liniile din vizibil laserul cu argon ionizat emite în u.v. două linii $\lambda = 3638$ Å și $\lambda = 3511$ Å. Intensi-

tatea acestor linii este circa 10% din intensitatea totală emisă. Cu alte cuvinte se pot obține în mod curent intensități de zeci de mw în u.v. cu laseri ionici de puteri medii.

Un capitol special în spectroscopia Raman cu ajutorul laserului cu argon ionizat, îl ocupă studiul structurilor moleculare ale polimerilor. Pînă în prezent informațiile asupra structurii chimice, asupra conținutului de monomeri, asupra regularității lanțului molecular, indicații asupra structurii cristaline, etc. s-au obținut cu ajutorul spetroscopiei în IR. Spectroscopia Raman aduce însă mai multe informații decît spectroscopia în IR. Metodica spectroscopiei Raman în acest caz este mult mai simplă și poate fi aplicată pe produse finite. De exemplu în spectroscopia IR probele trebuiesc pregătite sub formă de filme transparente în IR cu o grosime foarte critică. Grosimea trebuie să fie suficient de mică pentru ca benzile de absorbție să nu se elimine și suficient de mare ca să apară și benzile slabe. Probele acestea se fac la presă la cald sau la rece. Dar la polimerii semicristalini „istoria termică" determină proprietățile mecanice și chimice astfel că prelucrările termice ale probelor înainte de analiza spectrală pot duce la rezultate eronate.

Rezultate interesante s-au obținut cu ajutorul laserilor ionici în realizarea unui sistem de televiziune în culori. Unul din aceste sisteme a fost demonstrat la expoziția mondială de la Osaka în 1970, o realizare a firmei japoneze Hitachi. Sistemul constă dintr-un laser cu kripton ce emite o linie roșie și doi laseri cu argon ce emit în albastru și verde. Puterea maximă emisă de aceşti laseri este de 8 W. Principiul de funcționare : semnalele unei camere de televiziune se amplifică printr-un circuit special pînă la semnale de 1000 V. Aceste semnale amplificate se transmit pe cele trei fascicule laser cu ajutorul a trei modulatori din cristal. Fasciculele laser după ce au traversat un sistem de oglinzi semitransparente se combină într-un singur fascicul policrom, fiind reflectate de un al doilea sistem de oglinzi. Acesta realizează măturarea fasciculului pe oglindă, prin rotirea oglinzii cu 16 fețe cu o viteză de rotație de 60000 rot/min. Baleiajul vertical se face cu o oglindă cu 24 fețe ce se rotește cu 150 rot/min. Oglinda baleiajului vertical se rotește înainte și înapoi cu ajutorul unui motor special în timp ce un motor sincron realizează baleiajul orizontal. În felul acesta fasciculul laser modulat prin semnalul imagine al camerei de televiziune este proiectat pe un ecran de 2 × 3 m, unde produce o imagine care este cu mult mai mare și mai luminoasă decît imaginea pe tubul cu raze catodice. După toate probabilitățile acest sistem, care în anumite limite are multe avantaje față de cele clasice, va putea fi folosit în practică într-un viitor nu prea îndepărtat.

Ne oprim aici cu prezentarea aplicațiilor laserilor cu argon ionizat deși ele cuprind și multe alte domenii deosebit de interesante.

La IFA s-au realizat în cei trei ani de cercetări în acest domeniu cîteva tipuri de laseri cu argon ionizat, iar în prezent se află în studiu laserul cu argon ionizat de putere mare, cu selector de frecvență.

BIBLIOGRAFIE

1. *W. E. Bell*: Appl. Phys. Lett. 4, (2), 34, (1964).
2. *W. B. Bridges*: Appl. Phys. Lett. 4, (7), 128, (1964).
3. *G. Convert, M. Armand, P. Martinot-Lagarde*: Compt. Rend. 258, 3259, (1964).
4. *W. R. Bennett* Jr., *W. Knutson, G. N. Mercer, J. L. Detsch*: Appl. Phys. Lett. 4, (IO), 180, (1964).

5. *E. J. Gordon, E. F. Labuda, R. C. Miller, C. E. Eebb*: Phys. of Quant. Electronics Conference Iunie 28—30, 1965, San-Juan, Puerto-Rico, Reprint.
6. *G. Herziger, W. Seelig*: Z. Physik 215, 437, (1968).
7. *A. N. Chester*: Phys. Rev. 169, (1), 172, (1968).
8. *A. E. Ballik, W. R. Bennett, Jr., G. N. Mercer*: Appl. Phys. Lett. 8, (8), 214, (1966).
9 *C. Berenyi, M. Bârlogeanu*: Contrib. Papers IX Int. Conf. on Ionized Gases, Sept. 1—6, (1969) Bucharest, Romania.
10. *H. Statz, F. A. Horrigan, S. H. 'oozekanani, C. L. Targ, G. F. Koster*: J. Appl. Phys. 36, (7), 2278, (1965).
11. *W. R. Bridges, A. M. Chester*: Appl. Optics 4, (5), 573, (1965).

APLICAȚIILE LASERILOR ÎN CHIMIE

MARIA ITTU

Chimia utilizează laserul ca sursă de lumină monocromatică și de mare intensitate pentru studiul proprietăților chimice. Interacția radiației laser cu sistemele chimice este foarte complexă și poate avea loc printr-un singur mecanism sau o combinație de mecanisme.

O mare varietate de experimente au fost făcute cu laserul și interesul pentru aplicațiile cu laser este în continuă creștere. Fizicienii au experimentat efecte laser de mare intensitate în studii de optică neliniară, procese termoionice, procese de ionizare, au studiat efectele rezultate din absorbții multifoton cum sînt luminiscența, fotoconductivitatea. Specialiștii au revoluționat spectroscopia Raman. Laserul a facilitat studii de viață ale unor stări excitate și distribuții de energie în reacții. Chimiștii analitici au iradiat cu laser materiale opace și au analizat distribuția de masă rezultată din fragmentele ejectate.

Cu un succes mai mic s-au obținut experimente utilizînd laserul ca sursă fotochimică. Informația a fost fie o dublare a experimentelor făcute cu surse de lumină obișnuită, fie de o însemnătate cu semn de întrebare.

Pentru un fotochimist laserul poate oferi două avantaje importante față de sursele de lumină obișnuite. Primul avantaj este dat de monocromaticitatea radiației laser care permite o populare specifică selectivă a nivelelor și deci o rupere de legătură specifică. Al doilea avantaj rezultă din concentrarea mare de energie caracteristică radiației laser, care face ca substanțe transparente sau foarte reflectătoare în lumină normală, să devină foarte absorbante în lumină laser de mare intensitate și sînt în felul acesta încălzite la sute de grade instantaneu; se creează o situație de neechilibru prin concentrarea mare de specii nestabile termodinamic și în felul acesta pot avea loc noi reacții.

Pot fi enumerate cîteva domenii în care laserii și-au găsit o aplicare mai largă: 1 — Spectrometria de masă; 2 — Spectroscopia optică; 3 — Reacții chimice induse.

1. Spectrometria de masă

În analizele spectrometriei de masă intervine problema vaporizării solidelor care în condiții clasice implică cîteva greutăți legate de

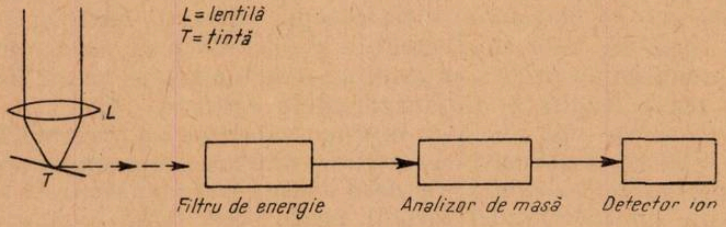
neputința limitării volumelor de probă și efectele contaminării. În tehnica laser aceste probleme nu sînt foarte frecvente. Energia radiației laser de mare intensitate e focalizată printr-o lentilă pe suprafața solidului aflat în studiu. Se obține o încălzire extrem de intensă rezultînd o vaporizare a tuturor materialelor din imediata vecinătate a radiației laser. Controlul intensității radiației laser și gradul de focalizare permit variația volumului probei, de la suprafețe subțiri, pînă la regiuni mici de 50 μ în diametru. Prin utilizarea unui sistem microscopic optic pentru focalizarea radiației laser și observarea vizuală a regiunii focalizate la microscop înainte și după emisia laser, se poate face o selecție exactă și bine definită a regiunii analizate.

1.1. *Identificarea speciilor de ioni.*

Utilizînd radiația laser în spectrometria de masă (1) s-au iradiat în vid cu o radiație focalizată de la laserul cu rubin diverse solide: conductori; semiconductori; izolanți.

După experiment s-au produs intense pulsuri de electroni și ioni pozitivi, procedîndu-se apoi la identificarea speciilor de ioni la spectrograful de masă. Un singur puls laser cînd e focalizat prin lentilă printr-o fereastră optică pe țintă este capabil de a vaporiza un microvolum în diametru de 150 μ și adîncime 125 μ. O focalizare preliminară e făcută cu o radiație luminoasă care cade pe o placă în timp ce ținta este eliminată.

După fiecare puls laser ținta va putea fi mișcată dacă e nevoie de material proaspăt. Se poate presupune că electronii s-ar datora unei emisii termoionice întrucît temperatura la suprafață produsă de pulsul laser e foarte mare.



Ionii pozitivi produși sînt selectați după energie, analizați după masă și înregistrați pe o placă fotografică. Se poate face o schemă simplistă a montajului.

1.2. *Analiză a compoziției moleculare a materialului emis prin acțiune laser.*

Compoziția moleculară a materialului emis prin acțiune laser prezintă interes pentru a înțelege fenomenele care au loc în timpul scurtei încălziri cu laser. (~400 μ sec.). Vaporii emiși au fost analizați cu un spectrometru de masă magnetic. Lumina unui puls laser cu rubin e focalizată pe ținta solidă localizată în interiorul spectrometrului de masă. Vaporii emiși sînt colimați într-o radiație moleculară care trece prin camera de ionizare a spectrometrului de masă și este parțial ionizată printr-un fascicul de electroni de energie controlată. Ionii rezultați sînt apoi analizați după masă.

De la 3 J/puls emis de laser se estimează 1 J/pul, care atinge ţinta după trecerea prin sistemul optic. Suprafaţa probei este normală la axul optic al spectrometrului de masă şi radiaţia laser izbeşte proba sub un unghi de aproape 15° de la normală. Există posibilitatea unei suprafeţe mereu proaspete prin mişcarea probei în timp ce spotul rămîne fix.

S-a făcut analiza vaporilor emişi din grafit şi alte solide prin focalizarea radiaţiei laser (2). Cavităţile formate în ţintele de grafit sînt de ~115 μ diametru şi 20—50 μ în adîncime. Intensităţile relative ale diferitelor picuri de carbon nu variază semnificativ, pentru diferitele probe de grafit. Intensităţile relative ale speciilor C_n^+ sînt comparate cu rezultatele obţinute prin analiza ionilor din grafit la o scînteie utilizată ca sursă. Procesul emisiei vaporilor este complex implicînd comportarea de plasmă, supraîncălzire, condensare şi alte fenomene.

1.3. *Studii de desorbţie de pe suprafeţe metalice.*

Într-o serie de studii de tehnică laser în spectrometria de masă, s-a examinat materialul adsorbit pe suprafeţele metalice (3). Cînd radiaţia laser de mare intensitate loveşte o suprafaţă metalică în vid se emit electroni, ioni pozitivi, gaze neutre şi o cantitate oarecare de vapori. La densităţi de puteri mai mici de 100 MW/cm² în 30 μ sec — durata pulsului, suprafaţa nu e încălzită pînă la punctele cînd are loc o erupţie explozivă.

Cu o ţintă de tungsten s-au obţinut diferite picuri în spectrul de masă. Tabelul măsurătorilor arată că există o oarecare desorbţie de hidrogen, vapori de apă, CO_2, CO şi hidrocarburi gazoase din suprafaţă. Vaporii de apă, CO, CO_2 au fost studiaţi în detaliu şi s-a stabilit variaţia numărului de molecule desorbite funcţie de densitatea de putere a radiaţiei laser.

Fiecare din gaze emis din suprafaţă în cantităţi care cresc monoton cu maximul de temperatură obţinut pe ţintă. Cantităţile de gaz emise indică că numai un monostrat este implicat în reacţie. Aceste date sînt potrivite cu ideea că desorbţia gazului indusă de laser e în total un proces termic.

Experimentele de acest tip ilustrează capacitatea laserului de a încălzi în spectrometria de masă şi dau sugestii pentru multe aplicaţii cum ar fi analizele de suprafaţă necesare în domeniul catalizatorilor pentru determinarea adsorbanţilor responsabili de activarea sau otrăvirea unui sistem catalitic.

2. Spectroscopia optică

Monocromaticitatea pronunţată şi intensitatea mare a semnalelor emise de laseri fac ca aceste dispozitive să poată avea largi aplicaţii în spectroscopie. În baza monocromaticităţii pronunţate laserii vor conduce la ridicarea preciziei spectroscoapelor optice de asemenea la o mai mare putere de rezoluţie în special în domeniul infraroşu în care atît datorită monocromaticităţii reduse cît şi intensităţii slabe a radiaţiilor emise de sursele obişnuite (sau a sensibilităţii proaste a detectorilor utilizaţi în acest domeniu), această metodă nu a putut fi dezvoltată satisfăcător. Intensitatea ridicată a radiaţiilor laser poate conduce la descoperirea unor linii spectrale noi.

La fel ca şi în spectrometria de masă, radiaţia laser dă posibilitatea vaporizării unor mici probe fără pericolul unei contaminări şi a unei suficiente încălziri pentru o emisie optică a vaporilor rezultaţi.

Aplicații specifice acestui domeniu sînt studii de incluziuni în metale, sticlă, măsurători de compoziție a oțelurilor și contaminarea unor suprafețe.

În oțeluri sînt detectabile următoarele elemente: Fe, Mn, Si, Al, Ni, Cr, Mo etc. Analizele chimice de silicat sau incluziunile de zgură pot fi făcute rapid și exact, fără separarea de matriță, iar examinarea metalului topit din furnal fără îndepărtarea sau răcirea probei.

Se cunosc circa 60 elemente detectabile cu laserul în microspectroscopie (4). S-au analizat acizi, sulfuri, carbonați, borați, sulfați, fosfați, tungstenați, vanadați, silicați.

În evaluarea spectrelor s-au folosit liniile elementelor care deja au fost utilizate anterior în investigări mineralogice. În ciuda unor cantități mici de substanță evaporată (de $\sim 10^{-6}$ g) cu un singur puls laser, e posibil să se analizeze nu numai elementele constituiente principale dar și urme de elemente. Nu există dificultăți pentru determinarea Al în galenă, a Th în titanite etc. Limita de detectare absolută merge în general sub 10^{-6} g, atingînd o valoare optimă între 10^{-11} și 10^{-12} g.

În petrografia cărbunelui, microspectroscopia laser dă informații utile în legătură cu valoarea pirotehnică, care e determinată de tipul și cantitatea substanței minerale conținute (în proporție de cca. 40%).

În cercetările socio-istorice, analizele spectrale în special microtehnica laser au o mare importanță, legate de următoarele avantaje: substanță minimă cerută pentru analiză fără o destructurare a texturii; viteză mare de analiză fără probe preparate: bogăția de informații — 60 elemente.

Investigările de criminalistică includ verificări de puritate și detectarea de falsuri. Aici minimul de substanță cerută are un avantaj particular în analiza de culoare, luciu și urme de murdărie, sticlă și altele.

În medicina juridică își găsește aplicația în diagnosticarea otrăvurilor metalice în corp prin determinarea, Mn, Fe, Be, Cu, Zn.

Limitările utilizării laserului pentru microprobe sînt două. În primul rînd durata relativ scurtă a emisiei și în al doilea rînd o mare variabilitate în măsurătorile cantitative prin variația pulsurilor în amplitudine și durată.

3. Reacții induse

3.1. *Fotoexcitarea* cu frecvență controlată a radiației laserului cu rubin a fost utilizată pentru examinarea cineticii reacțiilor în fază gazoasă. Studiul dinamicii proceselor e mai anevoios decît al proprietăților statice pentru că au loc procese simultane. Laserul permite simplificarea situației cu tehnici de excitare selectivă. În particular e vorba de un tip specific de molecule al cărui sistem poate fi excitat inițial pînă la o stare cuantică individuală. Comportarea ulterioară poate fi studiată mai ușor din cauză că numărul de procese care poate avea loc este restrîns printr-o inițiere selectivă. O alegere cu grijă a metodei pentru această inițiere selectivă permite o observare fără interferența altor procese posibile. Se știe că energia de activare pentru o reacție chimică este furnizată prin ciocniri termice ale moleculelor participante și că uzual energia cerută este cu mult mai mare decît cea care poate fi obținută printr-o singură ciocnire. În activitatea fotochimică energia cerută poate fi eliberată de un singur foton. O activitate selectivă are loc dacă lungimea de undă a sursei de lumină poate fi aleasă să coincidă cu lungi-

mea de undă de absorbție a tipului de moleculă din sistem. Laserul constituie o metodă selectivă și realizează o mare eficiență pentru activarea chimică din cauza concentrării unor cantități mari de energie luminoasă într-u domeriu spectral foarte îngust.

Laserul s-a utilizat ca sursă de lumină pentru fotocataliza selectivă a reacțiilor în fază gazoasă dintre brom și cîteva fluorohidrocarburi nesaturate.

Excitarea selectivă obținută cu laserul este utilizată pentru studii fotochimice și procese de transfer de energie. S-au făcut interpretări asupra mecanismului prin care decurge reacția sus amintită, și s-a conchis că în procesul primar se formează molecule excitate și nu atomi și că mecanismul reacției ulterioare constă din ciocnire-disociere a moleculelor excitate în atomi, care vor iniția lanțul de radicali liberi.

Sub acțiunea laserului cu rubin pot avea loc reacții de fotopolimerizare. Un exemplu îl constituie polimerizarea stirenului.

3.2. *Reacții la temperaturi înalte*

Radiația laser focalizată pe suprafața unui metal produce o temperatură extrem de înaltă într-un interval de timp scurt. Densitatea de fotoni e suficient de mare pentru a iniția procesul de topire și pentru a transforma substanța reflectătoare într-una absorbantă. Absorbția excită stările electronice care sînt rapid convertite în moduri vibraționale dînd o creștere către temperaturi extrem de înalte.

Folosind avantajul temperaturilor înalte, cercetătorii francezi au făcut studii de spectre de emisie ale unor molecule excitate în acest mod. Ei propun radiația laser ca un mijloc excelent de excitare deoarece se elimină posibilitățile de contaminare.

Un astfel de efect termic a utilizat zilnic în oftalmologie. Un singur puls laser poate prin acest proces să coaguleze o retină defectă, în mai puțin de o milisecundă.

3.2.1. *Studii de plasmă la temperaturi înalte.*

Studiile de temperaturi înalte implică o încălzire bruscă a microspecimenelor de solid sau lichid cu pulsuri termice intense, care necesită utilizarea unor lămpi flash și în ultimul timp a laserului. Utilizînd un flash pentru încălzire s-a realizat oxidarea la temperatură mare a unor picături submilimetrice de metale refractare (5). Aceste studii includ determinarea curbelor de răcire, a vitezelor de reacție, transfer de energie și în cîteva cazuri tranziții de fază în domeniul 2500—4000 °K.

3.2.2. *Reacții chimice induse în gaze.*

S-au propus mai multe teorii pentru ionizarea indusă de laser în gaz, dar nici una nu e satisfăcută experimental, iar constatarea este că procesul e inițiat printr-un număr mic de absorbții multifoton. În acest proces un foton ciocnește un electron care se află în cîmpul unui atom sau ion. În această ciocnire de trei corpuri energia fotonului e transferată electronului. Mai multe evenimente din acestea au loc prin producerea unor electroni de mare energie, care la rîndul lor se ciocnesc cu atomi aducîndu-i la starea de ionizare. Cercetarea privind efectul laser precum asemănările și deosebirile față de efectele de excitare produse de cele mai clasice surse are un important semn de întrebare.

Ca o dezvoltare a investigărilor de ionizări în gaze cu o radiaţie de mare intensitate s-au făcut studii asupra procesului de rupere a moleculelor unor substanţe organice în stare de vapori prin focalizarea unui puls laser şi identificarea produşilor de reacţie rezultaţi (6),(7). În studiile lui Adelman se descrie emisia care însoţeşte ruperea tetraclorurii de carbon, cloroformului, acetonei, metanolului, hexanului şi se identifică o parte din produşii rezultaţi.

Specii observate în emisie

CCl_4	C_2, C, C^+, C^{++}, Cl^+
$CHCl_3$	C_2, C, C^+, C^{++}, Cl^+
hexan	C_2, C, C^+, C^{++},
CH_3OH	C_2, C, C^+, C^{++}, O^+
acetonă	C_2, C, C^+, C^{++}, O^+

Singura emisie poliatomică a fost aceea de C_2. Aceşti componenţi cînd sînt excitaţi în flacără, descărcări electrice, în general manifestă o emisie din OH, Cl, CO. Lipsa unei astfel de emisii cuplată cu emisia de specii atomice ionizate e un indiciu pentru temperaturi înalte în gaz.

Un puls laser focalizat într-un mediu de gaz metan va descompune metanul în hidrogen şi acetilenă în care principalul constituent pentru cauciuc şi polietilenă se formează cu un randament de 10—20 procente.

Nr. exp.	Compoziţie	Procent mediu de lumină abs.	Numărul pulsurilor
1	CH_4	50	1
2	CH_4	82	3
3	CO_2	73	5
4	20 % CO_2, 80 % O_2	78	1
5	55 % O_2, 45 % N_2	81	3

Urmărind datele din tabel, procentul mare de energie absorbită indică că ruperea moleculei are loc în toate cazurile, lucru confirmat de altfel prin analiza cu spectrograful de masă a gazelor reziduale care prezintă însemnate schimbări în compoziţie. Randamentul de O_2 de 1,40 a fost aşteptat în experimentul nr. 3 dar a fost mic 0,17 în experimentul nr. 4 posibil datorită convertirii în oxid de deuteriu care la aceste concentraţii a fost pierdut prin absorbţie în timpul analizelor.

produşi	randament ($\times 10^{-6}$ moli)
metan	0,3—0,4
acetilenă	15,0—20,0
etilenă	0
compuşi C	0,1
compuşi C	1,0
C_3/C_4	0,1

O radiaţie laser de mare intensitate a fost focalizată pe o ţintă de grafit pur, într-o celulă umplută cu vapori de etilenă. După iradiere cu 10—20 pulsuri analizele au fost făcute prin cromatografia de gaz (8). Principalii produşi detectaţi sînt acetilena, diacetilenă, vinilacetilenă. Schimbînd mediul de reacţie deci înlocuind etilena cu hidrogen, principalul produs e acetilena (~80 %). Din interpretări şi studii comparative s-a tras concluzia că specia care joacă un rol dominant în reacţiile induse de laser în olefine şi hidrogen este carbonul diatomic — prezenţă confirmată spectroscopic. În tabelul de mai jos sînt trecuţi produşii rezultaţi

în urma iradierii cu puls laser a unei ţinte de grafit aflată într-o celulă cu hidrogen.

Dezvoltarea aplicaţiilor laserilor în problemele chimice aşteaptă o mai largă cunoaştere de către chimişti a proprietăţilor şi posibilităţilor surselor de radiaţii laser precum şi operarea mai multor laseri la puteri înalte în regiunea U.V. cu o energie a fotonilor comparabilă cu energia legăturii chimice.

BIBLIOGRAFIE

1. *Honig R. E., Woolston I. R.* Appl. Phys. Letters 2, 138 (1963).
2. *Berkowitz J., Chupka A.* J. Chem. Phys. 40, 2735 (1964).
3. *Levine L. P., Ready J. F.* J. Appl. Phys. 38, 331—36 (1967).
4. Proceedings of the analytical chemical conference Budapesta (1966).
5. *Hanght F. A., Polk D.* Phys. Fluids 9, 2047—56 (1966).
6. *Epstein L. M. Suh K. H.* Nature 211, 1173 (1966).
7. *Adelman, A. H.* J. chem. Phys. 45, 3152 (1966).
8. Bull. Chem. Soc. Japan 42 (1969).

LUCRĂRI DESPRE LASERI APĂRUTE ÎN ŢARA NOASTRĂ

1. *I. M. Popescu* — Amplificatoare şi generatoare cuantomecanice. Gazeta Matematică şi Fizică, Seria A, Nr. 7, 359—369 (1962); nr. 8, 403—421 (1962).
2. *I. Cucurezeanu* — „Generatori şi amplificatori cuantici în domeniul optic". Studii şi cercetări de fizică" nr. 3 (1963).
3. *I. Cucurezeanu, D. Lăzărescu* — Laserii — Ed. Ştiinţifică 1965.
4. *I. Cucurezeanu* — Laseri — Ed. Academiei R.S.R. Bucureşti, 1966.
5. *I. Agârbiceanu, A. Agafiţei, A., Preda, V. V. Vasiliu.* — „Effet laser dans un decherge luminiscente à catode creuse". Mev. Roum. Phys., *11*, 649, (1966).
6. *V. Drăgănescu, A. Manolescu, V. Vasiliu, N. J. Ionescu-Pallas.* — Study of the characteristics of a Fabry-Perot etalon with the aid of a laser" Rev. Roum. Phys. *12*, 739 (1967).
7. *I. Agârbiceanu, A. Agafiţei, L. Blănaru, V. Drăgănescu, I. M. Popescu, V. Vasiliu.* — „La réalisation d'un laser à CO_2" Rev. Roum. Phys. *13*, 175 (1968).
8. *C. Berenyi, M. Birlogeanu, V. G. Velculescu* — „Continous-wave Hgih Power CO_2 Laser" — Rev. Roum. Phys. *13*, 189 (1968).
9. *C. Berenyi, M. Birlogecnu, V. G. Velculescu* — „On the Achievement of a Laser with Ionised Argon", Rev. Roum. Phys. *13*, 735 (1968).
10. *I. Agârbiceanu, C. Berenyi, C. Moţoc* — „Effects of Laser Iradiation on the $+\gamma$ Ray Induced Couleur centres in NaCl" Rev. Roum. Phys. *13*, 809, (1968).
11. *V. G. Velculescu* — „Probleme legate de inversia de populaţie a nivelelor atomice", St. Cerc. fiz., *20*, 274, (1968).
12. *I. Agârbiceanu, A. Preda, V. Vasiliu* — „Modification des intensités des reies d'émission d'un tube Laser à cathode creuse", Rev. Roum. Phys. *13*, 737 (1968).
13. *I. Agîrbiceanu, I. Teodorescu, I. M. Popescu, V. Drăgănescu* — „L'effet d'un faisceau de laser à CO_2 —10,6 μ sur la surface des cristaux de $NaCl^2$", Rev. Roum. Phys. *14*, 309 (1969).
14. *I. M. Popescu, V. Vasiliu, V. Drăgănescu* — „Laserii şi unele aplicaţii în ştiinţă şi tehnică" Ed. Ministerului Industriei Construcţiilor de maşini (1969).
15. *I. Agârbiceanu, A. Preda, V. Vasiliu, A. Agafiţei* — „Laser în descărcare luminiscentă cu catod tubular", St. cerc. fiz. *21*, 3 (1969).
16. *C. Berenyi, M. Birlogeanu, V. G. Velculescu* — „Influenţa impurităţilor asupra liniei 3,39 μ a laserului cu He—Ne", St. Cerc. fiz. *22*, 235 (1970).
17. *A. Agafiţei, A. Chetroiu, V. Vasiliu*: „Laser cu He—We pe radiaţia 6330 Å excitat în curent continuu", St. Cerc. fiz. *22*, 243 (1970).

BIBLIOTECA „ASTRA" SIBIU

18. *L. Blănaru, A. Chetroiu, V. Vasiliu* : — „Proprietăţi optice şi aplicaţii ale rezonatorilor cu fascicul multiplu extra-axial în domeniul laserilor cu gaz" St. Cerc. Fiz. *22*, 831 (1970).

19. *I. Agârbiceanu, I. M. Popescu, Al. Niţoi, Al. Ciura, P. Cristea* — „Laser à CO_2 declenché" Rev. Roum. Phys. *15*, 395 (1970).

20. *V. Vasiliu, A. Agafiţei, A. Coroianu* — „Laser cu gaz (He—Ne) model LG 1000.1." St. Cerc. Fiz. *23*, 235 (1971).

21. *A. Chetroiu, V. Vasiliu, E. Potoroacă* — „Laser cu He—Ne model LG 750 L „St. Cerc. Fiz. *23*, 353 (1971).

22. *R. Alexandrescu, V. G. Velculescu* — „Asupra temperaturilor locale obţinute prin iradiere cu fasciculul Laser", St. Cerc. Fiz. *23*, 593 (1971).

23. *V. Vasiliu* — „Contribuţii la studiul emisiei stimulate a unui amestec He—Ne" St. Cerc. Fiz. *23*, 637 (1971). (Rezumatul tezei de doctorat).

24. *I. Agârbiceanu, A. Ciura, I. M. Popescu, Al. Preda* — „Laser à ^{333}Cd—He fonc ionnant en continu" Rev. Roum. Phys. *16*, 607 (1971).

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

I. P. Informaţia — c. 2669

Index 43 459

Lei 3

SOCIETATEA DE ȘTIINȚE FIZICE ȘI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista
DE
FIZICĂ ȘI CHIMIE

SERIA A
VOLUMUL VIII

10

OCTOMBRIE 1971

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE
STR. NUFERILOR 23, SECTORUL 7 BUCUREȘTI—46, TELEFON 16.42.86

SUMAR

Pag.

Stud. *Cristian Conțescu*, București

1. Chemosorbția — etapă importantă a catalizei heterogene 361

M. Jitaru, Iași

2. Studiul oscilatorilor cu diode tunel și linii de întîrziere 372

Uliu Florea, Craiova

3. Efectul Joule-Thomson 378

Adina Goldemberg, Iași

4. Caracterizarea stării unui sistem cu un număr mare de particule de către spinul particulelor din acel sistem 384

R. Dabu, C. Fenic, G. Nemeș, I.F.A. București

5. Laseri cu corp solid și aplicații 388

6. Din viața Societății

COMITETUL DE REDACȚIE

Constantin D. Albu, lector univ; **Teodor Bohățiel**, asist. univ; **Simion Bulgărea**, prof.; **Maria Codreanu**, prof.; **Andra Körner**, redactor; **Nicolae Martalogu**, conf. univ.; **Eleonora Mihul**, cercetător; **Ion C. Moisil**, conf. univ.; **Alice Negoescu**, prof.; **Ion C. Petrea**, conf. univ.; **Victor Sahini**, prof.univ.; (m. c. Acad. Repbulicii Socialiste România); **Elena Teodoru**, prof.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

SERIA A

Volumul VIII, nr. 10 Octombrie 1971

CHEMOSORBŢIA ETAPĂ IMPORTANTĂ A CATALIZEI HETEROGENE.

Student *CRISTIAN CONŢESCU*, Bucureşti

Adsorbţia este fenomenul de concentrare a unei substanţe la suprafaţa de separare dintre două faze în contact.

Trebuie evitată confuzia — care se mai face destul de des — între *adsorbţie*, care este un fenomen de suprafaţă, şi *absorbţie*, fenomen care implică întrepătrunderea şi repartiţia omogenă a moleculelor substanţei absorbite cu cele ale fazei absorbante, la contactul fazelor. Astfel, proprietăţile decolorante ale cărbunelui activ se bazează pe bunele sale proprietăţi adsorbante, în timp ce, de exemplu, dizolvarea gazelor în lichide este un fenomen de absorbţie.

O mare importanţă teoretică şi practică o au cazurile particulare de adsorbţie a gazelor pe suprafeţele solide ale metalelor şi semiconductorilor, acestea fiind strîns legate de procesele de cataliză heterogenă gaz-solid. Astfel, reacţiile care au loc între gaze la suprafaţa unor catalizatori solizi (de exemplu sinteza NH_3 din N_2 şi H_2 pe catalizator de Fe) implică trei etape de desfăşurare:

1. adsorbţia reactanţilor pe suprafaţa catalizatorului; 2. reacţia între moleculele adsorbite; 3. desorbţia produşilor de reacţie.

Impresionantul număr de reacţii catalitice pe baza cărora s-a dezvoltat o mare parte a industriei chimice a făcut necesară elaborarea a numeroase studii pentru cercetarea mecanismului după care au loc acestea. Cercetările au urmărit găsirea unor criterii teoretice de alegere a catalizatorilor şi a condiţiilor optime de reacţie, în scopul realizării celor mai economice soluţii industriale. În cadrul acestor studii, un capitol însemnat este destinat fenomenelor de adsorbţie şi desorbţie a gazelor pe metale şi semiconductori.

1. Adsorbţia fizică şi adsorbţia chimică.

Primele studii asupra adsorbţiei (Garner şi Kingman, Taylor şi Williamson, în jurul anilor 1930—1931) au indicat existenţa a două tipuri de adsorbţie, după natura forţelor care reţin moleculele pe suprafaţă: adsorbţie fizică şi adsorbţie chimică (chemosorbţie).

Se consideră că adsorbţia fizică are loc pe suprafeţe inerte, la care forţele de atracţie între atomii vecini se satisfac reciproc. Moleculele gazului fiind reţinute slab pe suprafaţă (prin forţe de tip van der Waals), energia degajată prin adsorbţie este mică (căldura de adsorţbie $q_p \approx 5-8$ kcal) şi fenomenul are loc fără energie de activare.

Chemosorbţia în schimb implică participarea electronilor adsorbantului şi ai substanţei adsorbite, deci crearea unor legături de natură chimică (electronică). Din această cauză energiile puse în joc sînt mai

mari (căldura de chemosorbție $q_c \approx 15-20$ kcal fiind apropiată de căldura de reacție a unor tipuri cunoscute de reacții chimice exoterme). Taylor a observat în 1931 că viteza de chemosorbție a H_2 pe un amestec de oxizi de Mn și Cu crește odată cu creșterea temperaturii și a emis teoria adsorbției activate. Aceasta înseamnă că fiecare moleculă care vine în contact cu suprafața are nevoie de o energie minimă pentru a putea fi reținută prin adsorbție chimică (energia de activare a chemosorbției).

Dezvoltarea ulterioară a mecanicii cuantice a permis tratarea cantitativă pe baze noi a fenomenelor și a indicat altă diferență esențială între adsorbția fizică și chemosorbție. În timp ce pentru adsorbția fizică adsorbantul și molecula adsorbită reprezintă două sisteme diferite, independente, în cazul chemosorbției acestea alcătuiesc împreună un sistem cuanto-mecanic unic, reflectînd o interacțiune mult mai puternică între parteneri.

În procesele catalitice gaz-solid, prima etapă, cea determinantă pentru desfășurarea ulterioară a reacțiilor, este *adsorbția chimică* a moleculelor reactante. Cercetările au arătat că la chemosorbție au loc schimbări electronice importante, care produc disocierea moleculelor (după un mecanism care de la caz la caz poate fi homolitic sau heterolitic) și stabilirea unor legături noi cu suprafața. Astfel, adsorbția H_2 sau O_2 pe wolfram se face după schema:

$$H_{2(g)} + 2W \rightleftharpoons 2\,[W-H]_{ads}$$

$$O_{2(g)} + 2W \rightleftharpoons 2\,[W-O]_{ads}$$

Teoria curbelor de energie potențială ale unei molecule X_2 adsorbită fizic și ale atomilor X formați prin disociere și chemosorbție, în funcție de distanța r pînă la suprafața adsorbantă a fost elaborată de Lennard-Jones în 1932. Curbele prezintă cîte un minim al energiei la distanța de echilibru față de suprafață corespunzînd adsorbției fizice a moleculei nedisociate X_2 (A) sau chemosorbției atomilor X rezultați prin disociere (B). Poziția acestor minime față de nivelul de zero al energiei (corespunzînd situației cînd molecula X_2 se găsește la o distanță foarte mare de suprafață și nu este adsorbită) dau mărimea căldurilor de fizisorbție (q_p) și chemosorbție (q_c) (fig. 1).

Considerînd o moleculă adsorbită fizic (punctul A pe curba 1) să ne imaginăm că prin apropiere de suprafață ea s-ar putea adsorbi chimic (ajungînd în punctul B pe curba 2). În acest caz, din punct de vedere energetic sistemul ar urma drumul APB, trecînd printr-un maxim al energiei în punctul P care figurează existența unui complex de tranziție între stările electronice (1) și (2). Această barieră de energie corespunde energiei de activare a chemosorbției, care este necesară trecerii moleculei din starea de adsorbție fizică în starea de chemosorbție. Creșterea bruscă a energiei de activare a adsorbției odată cu creșterea temperaturii indică trecerea de la adsorbția fizică (la temperaturi apropiate de temperatura de condensare a gazului) la adsorbția chimică (la temperaturi superioare).

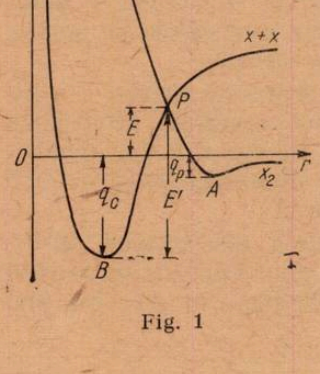


Fig. 1

2. Cinetica proceselor de adsorbție și desorbție.

Ne vom ocupa în continuare numai de adsorbția chimică.

Viteza de adsorbție u, reprezintă numărul de molecule care se adsorb în unitatea de timp pe unitatea de suprafață, în condiții date de temperatură și presiune. Factorii care o influențează sînt:

— numărul de ciocniri ale moleculelor gazului cu unitatea de suprafață a adsorbantului, în unitatea de timp. El depinde de presiunea gazului p, de temperatura absolută T și de masa moleculelor m și are expresia:

$$\frac{p}{\sqrt{2\pi mkT}},$$

unde $k = 1{,}38.10^{-23}$ J°K^{-1}, este constanta lui Boltzman.

— probabilitatea ca molecula să ciocnească un centru activ al suprafeței neocupat de altă moleculă adsorbită. Aceasta este o funcție de gradul de acoperire al suprafeței cu molecule adsorbite: $f(\theta)$;

— energia de activare a chemosorbției, E, care intervine într-un factor exponențial de tip Boltzman: $e^{-E/RT}$;

— coeficientul de condensare σ — reprezintă probabilitatea ca o moleculă avînd energia de activare necesară și ciocnind un centru activ liber al suprafeței să fie reținută prin chemosorbție.

Viteza de chemosorbție are deci expresia:

$$u = \frac{\sigma p}{\sqrt{2\pi mkT}} f(\theta)\, e^{-E/RT}$$

și în general crește exponențial odată cu creșterea temperaturii (Taylor — 1931).

Viteza de desorbție a moleculelor adsorbite depinde de:

— numărul centrilor ocupați ai suprafeței pe care se poate face desorbția: $f'(\theta)$;

— energia de activare a desorbției, adică energia pe care trebuie să o aibă moleculele pentru a învinge forțele de reținere și a se desprinde de pe suprafață: $E' = E + q_c$;

— constanta de viteză a desorbției, k.

Expresia vitezei de desorbție este:

$$u' = kf'(\theta)\, e^{-E'/RT}$$

În cazul cel mai simplu, cînd moleculele se adsorb pe un singur centru și stratul format nu este mobil,

$f(\theta) = 1 - \theta$ fracțiunea centrilor neocupați

$f'(\theta) = \theta$ gradul de acoperire a suprafeței.

Termenii E, E', σ și k nu depind în general de θ și variația vitezei de adsorbție sau desorbție în funcție de gradul de acoperire a suprafeței se face în special datorită termenilor $f(\theta)$ și $f'(\theta)$. În cele mai multe cazuri, $\sigma \leqslant 1$ și $k = 10^{-28}$ cm^{-2} sec^{-1}. În cazul adsorbției activate se constată uneori o dependență a energiei de activare de gradul de aco-

perire : $E = E_0 + \alpha\theta$, ceea ce modifică în plus viteza de adsorbție (ecuația Elovich) :

$$u = \frac{\sigma p}{\sqrt{2\pi mk\,T}}(1-\theta)\,e^{-\frac{E_0+\alpha\theta}{RT}}$$

$$u = \text{const.}\,(1-\theta)\,e^{-\frac{\alpha\theta}{RT}}$$

Studiile făcute de Roberts în 1935 asupra adsorbției H_2 pe W au arătat însă că, chiar la $-185°$, adsorbția se face rapid și viteza de adsorbție nu depinde decît de acoperirea suprafeței. Mai tîrziu s-au găsit încă multe alte cazuri de adsorbție care nu se încadrează în teoria adsorbției activate (Taylor). Acestea sînt exemple de chemosorbție care nu necesită energie de activare ($E = 0$). Viteza de adsorbție este :

$$u = \frac{\sigma p}{\sqrt{2\pi mk\,T}} f(\theta)$$

și scade cînd crește temperatura. În general, pe o suprafață „curată", fără impurități adsorbite și fără defecte de structură, are loc la început o adsorbție rapidă, neactivată, la temperaturi relativ mici, pînă se produce o saturare relativă a suprafeței. Adsorbția continuă apoi cu o energie de activare care se datorește probabil neomogenității structurale a suprafeței rezultate, factorului geometric care împiedică accesul la centrii activi rămași liberi, precum și repulsiilor electrostatice dintre moleculele (atomii) adsorbite anterior.

3. Izoterme de adsorbție.

Parametri termodinamici care influențează echilibrul de adsorbție sînt presiunea gazelor care se adsorb, p, volumul de gaz adsorbit v, și temperatura asbolută T. După legea fazelor, numărul gradelor de libertate pe care le poate avea sistemul :

$$X_{2(g)} \rightleftharpoons X_{2(ads)}$$

este :

$$F = C - P + 2$$

C = numărul componenților ($C = 2$) ; P = numărul fazelor ($P = 2$).

Deci $F = 2$, ceea ce înseamnă că valoarea unuia dintre acești parametri este întotdeauna determinată de valorile celorlalți doi. Menținînd unul dintre parametri la o valoare constantă se pot obține relații biunivoce între ceilalți doi, care descriu echilibrul în condițiile date :

$T = \text{const}$	$v = f(p)$	izoterme de adsorbție
$p = \text{const}$	$v = f(T)$	izobare de adsorbție
$v = \text{const}$	$p = f(T)$	izostere de adsorbție.

Practic este cel mai comod să se mențină $T = \text{const}$ și să se urmărească dependența volumului adsorbit de presiunea gazului. Se obțin astfel cinci

tipuri generale de izoterme, corespunzînd unor tipuri diferite de adsorbție : (fig. 2).

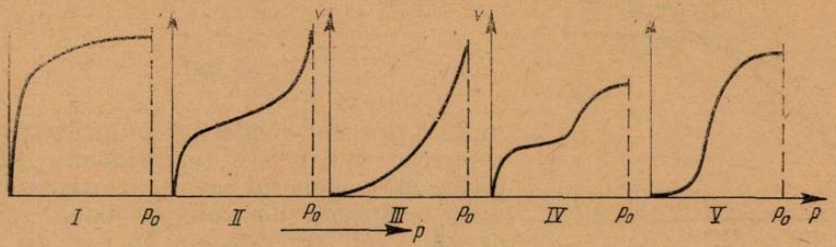


Fig. 2

T = const ; p_0 = presiunea vaporilor saturați la temperatura T.

Cea mai largă aplicabilitate o au totuși curbele de tipul I, indicînd o limitare a adsorbției (saturare).

Se poate găsi o legătură între presiunea gazului și gradul de acoperire a suprafeței θ la temperatură constantă. În acest scop se fac următoarele ipoteze simplificatoare : — moleculele adsorbite sînt în echilibru permanent cu moleculele fazei gazoase prin procese de adsorbție și desorbție ; — pe suprafață există un număr fix de centri activi pentru adsorbție ; — toți centri activi sînt echivalenți din punct de vedere energetic (suprafața este omogenă) ; — moleculele ocupă prin adsorbție un singur centru și moleculele adsorbite nu au mobilitate în stratul de adsorbție ; — stratul de adsorbție este monomolecular.

Considerînd că la echilibru viteza de adsorbție este egală cu viteza de desorbție :

$$u = u', \text{ adică}$$

$$\frac{\sigma p}{\sqrt{2\pi mk\,T}} f(\theta)\, e^{-E/RT} = k f'(\theta)\, e^{-E'/RT}$$

și notînd $q = E' - E$, energia cedată prin chemosorbție :

$$p = \frac{k}{\sigma}\sqrt{2\pi mk\,T}\,\frac{f'(\theta)}{f(\theta)}\, e^{-q/RT}$$

Introducînd expresiile cunoscute (în cazul simplificat ales) :

$$f(\theta) = 1 - \theta\,;\quad f'(\theta) = \theta$$

și notînd

$$\frac{1}{a} = \frac{k}{\sigma}\sqrt{2\pi mk\,T}\;\, e^{-q/RT}$$

unde

$$a = a(T)$$

se obține *izoterma lui Langmuir* (dedusă empiric din anul 1916) :

$$p = \frac{\theta}{a(1-\theta)} \quad \text{sau} \quad \theta = \frac{ap}{1+ap}$$

Totuşi, simplificările făcute limitează aplicabilitatea izotermei lui Langmuir. Pentru a exprima comportarea altor sistem s-a găsit o relaţie empirică, dar mai generală, *izoterma lui Freundlich*:

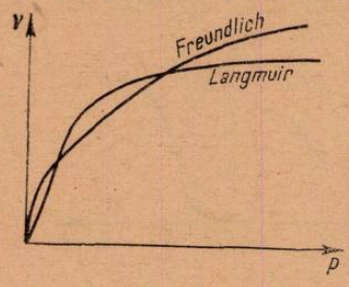


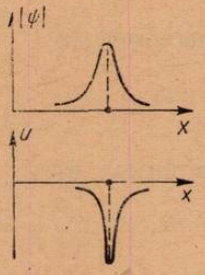
Fig. 3

$$v = cp^{\frac{1}{n}}$$

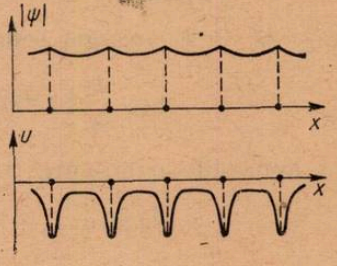
unde c şi n sînt coeficienţi proprii sistemului, care scad cînd creşte temperatura. În condiţiile unei acoperiri medii, izoterma Freundlich se apropie de izoterma Langmuir, dar există şi un larg domeniu în care ele nu se suprapun (fig. 3).

4. Elemente de structură a stării solide.

Teoria electronică a chemosorbţiei (Volkenstein, 1960) s-a dezvoltat plecînd de la rezultatele obţinute de mecanica cuantică asupra mişcării electronilor în cristale şi repartiţiei lor între diversele stări energetice. Teoria modernă a structurii solidelor (teoria zonelor) consideră că în interiorul reţelei cristaline electronii au o mare mobilitate sub acţiunea potenţialului pozitiv al multor nuclee vecine. Aceasta este valabil în special pentru electronii proveniţi din straturile periferice ale atomilor din reţea. În acest fel electronii nu rămîn localizaţi la atomii din care provin iniţial, se delocalizează, mişcarea lor fiind descrisă de funcţii de undă de un tip special (funcţii Bloch), periodice în cîmpul periodic al nucleelor, care se extinde în tot volumul cristalului (fig. 4). Prin acţiunea combinată a tuturor atomilor componenţi ai reţelei, fostele nivele energetice ale atomilor izolaţi se scindează, formîndu-se benzi largi în care energia electronilor poate lua mai multe valori permise. Aceste benzi sînt tocmai rezultatul suprapunerii tuturor nivelelor energetice ale atomilor izolaţi.



Funcţia de undă $|\psi|$ şi potenţialul electronului faţă de un atom izolat (electron localizat).



Funcţia de undă periodică $|\psi|$ a electronului delocalizat şi potenţialul periodic al atomilor în reţeaua cristalină.

Fig. 4

În felul acesta spectrul energetic al cristalelor apare ca o succesiune de benzi în care energia electronului poate lua valori permise („benzi sau zone permise") şi benzi de valori interzise, care nu se pot completa cu electroni. Limita energetică superioară pînă la care are loc completarea

cu electroni este o caracteristică a tipului de cristal şi a structurii sale (nivelul Fermi, fig. 5).

La *conductori* (metale) nivelul Fermi se află în mijlocul unei zone permise. Sub acţiunea unui cîmp electric electronii ocupă cu uşurinţă

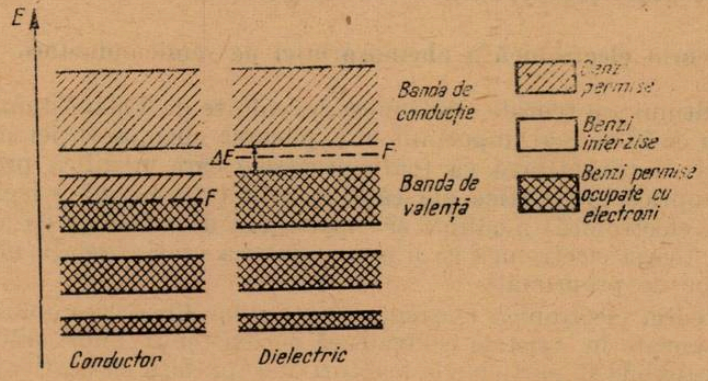


Fig. 6

nivelele superioare ale aceleiaşi benzi permise de energie (dar ocupată incomplet) şi apoi se deplasează preferenţial în direcţia cîmpului. Astfel se explică conductivitatea electrică a metalelor. În cazul *dielectricilor* nivelul Fermi se află în mijlocul unei benzi interzise. Excitarea electronilor de pe ultima bandă permisă ocupată complet (banda de valenţă) pe următoarea bandă permisă liberă (banda de conducţie) nu se poate face de către energia cîmpului electric şi de aceea lipsesc proprietăţile conductive. În cazul altor cristale (de exemplu cristalele de Ge, Si sau ale unor oxizi metalici de tipul ZnO, Cr_2O_3, NiO), banda interzisă este destul de îngustă ($\Delta E \ll kT$) şi la temperaturi mai mari apare conductibilitatea electrică, prin promovarea electronilor în banda de conducţie. Aceste cristale se încadrează în clasa *semiconductorilor*.

Conductibilitatea semiconductorilor mai poate să apară prin existenţa unor nivele energetice discrete, adiţionale, în interiorul ultimei benzi interzise, corespunzătoare existenţei unor stări electronice localizate. Aceste nivele apar datorită *defectelor* din structura regulată a cristalului, care pot proveni din:

— dezordinea termică a reţelei cristaline (la temperaturi mari);

— existenţa unor impurităţi în cristal (adausuri) sau pe suprafaţa lui (adsorbţia unor molecule de gaz);

— existenţa unor solicitări mecanice locale care produc deformări ale reţelei.

Nivelele adiţionale pot fi *donoare de electroni* (D), în vecinătatea benzii de conducţie, sau *acceptoare de electroni* (A), în vecinătatea benzii de valenţă (fig. 6). Ele servesc ca trepte intermediare de promovare a electronilor în banda de conducţie şi au ca efect proprietăţile semiconductoare şi chemosorbtive. Prin promovarea electronilor localizaţi pe nivelele donoare în banda de conducţie, în cristal apar elec-

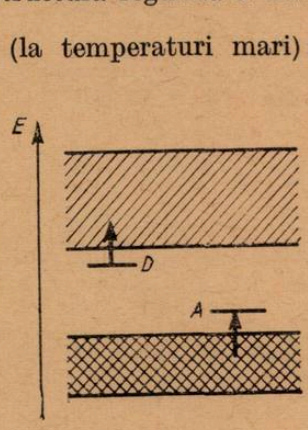


Fig. 6

troni liberi nelocalizați (e^-) care conduc curentul electric (semiconductori de tip n). Localizarea electronilor din banda de valență pe un nivel acceptor echivalează cu descompletarea acesteia, deci cu apariția unui „gol pozitiv" (p^+) nelocalizat în cristal, care poate conduce curentul electric prin migrare (semiconductor de tip p).

5. Teoria electronică a chemosorbției pe semiconductori.

În ultimii ani teoriile electronice dezvoltate de Volkenstein își găsesc un loc din ce în ce mai important în explicarea chemosorbției și catalizei. Plecînd de la constatarea că toate procesele care modifică proprietățile electrice, optice, magnetice ale catalizatorului (proprietăți legate direct de natura electronică) modifică și capacitatea de adsorbție și activitatea catalitică, teoria electronică își propune găsirea unor corelații între aceste două grupe de proprietăți.

În teoria electronică existența electronilor liberi și a golurilor pozitive nelocalizate în cristale echivalează cu existența unor valențe libere virtuale, capabile să participe la legături de suprafață cu particulele adsorbite. În felul acesta sînt posibile două forme de chemosorbție:

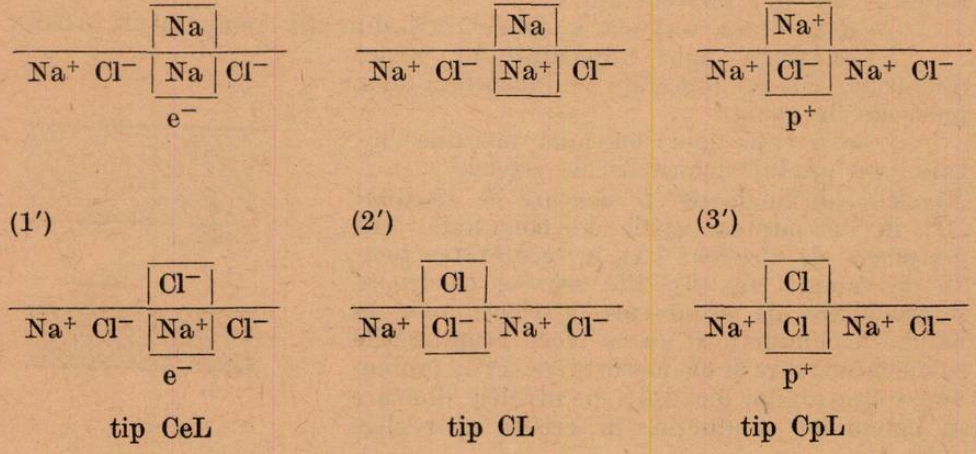
a) Chemosorbție „slabă" în care particula adsorbită și centrul pe care se adsoarbe sînt neutre din punct de vedere electric. Legătura cu rețeaua se face numai cu participarea electronilor particulei adsorbite. Simbol CL.

b) Chemosorbție „puternică" — în care particula adsorbită localizează un electron liber sau un gol pozitiv rețelei, care participă la legătură și modifică formația electronică (și sarcina) particulei adsorbite. Se pot forma:

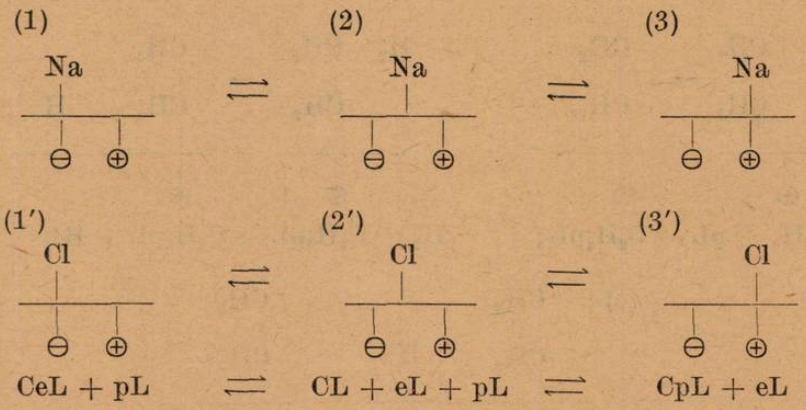
— legături puternice acceptoare (de tip n) — cu localizarea unui electron liber. Simbol CeL.

— legături puternice donoare (de tip p) — cu localizarea unui gol pozitiv. Simbol CpL.

Ca exemplu se reprezintă adsorbția atomilor de Na și Cl pe suprafața unui cristal de NaCl.



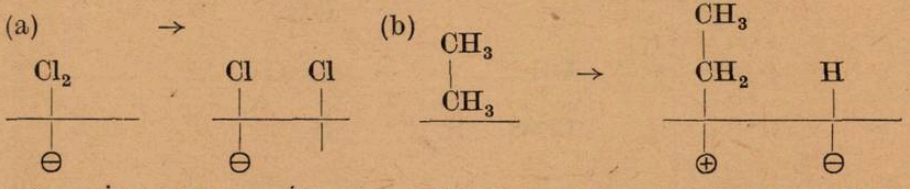
Simbolic, notînd numai valenţele libere (e^- şi p^+ delocalizaţi), aceste cazuri se mai pot nota :



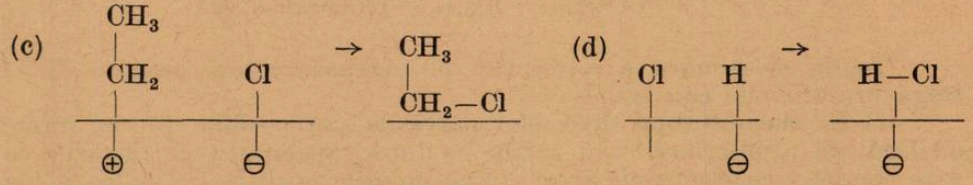
Între formele „slabe" şi „puternice" de chemosorbţie pot avea loc tranziţii determinate de participarea electronilor liberi şi a golurilor pozitive nelocalizate. Concentraţiile lor relative în reţea sînt însă determinate, aşa cum arată teoria electronică, de poziţia nivelului Fermi în interiorul benzii interzise. Deoarece reactivitatea particulelor adsorbite prin legături „slabe" sau „puternice" este diferită, participarea lor la reacţiile ulterioare de pe suprafaţă (care constituie o a doua etapă importantă a catalizei heterogene) depinde deci de poziţia nivelului Fermi. Datorită participării e^- şi p^+ liberi la reacţiile de pe suprafaţă se stabileşte un echilibru între formele de adsorbţie „slabe" şi „puternice", ceea ce face să apară pe suprafaţă radicali sau ioni — radicali cu reactivitate mare, care apoi se pot combina între ei. Ca exemplu se dau cîteva mecanisme de reacţii catalitice care au loc în lanţuri radicalice :

(1) *Substituţii cu ruperea şi formarea a două legături simple.*

$$CH_3CH_3 + Cl_2 \rightarrow CH_3CH_2Cl + HCl$$



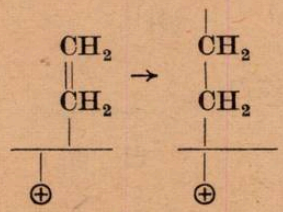
$Cl_2 + \dot{e}L \rightarrow ClL + \dot{C}lL$; $CH_3CH_3 + L \rightarrow CH_3CH_2pL + HeL$



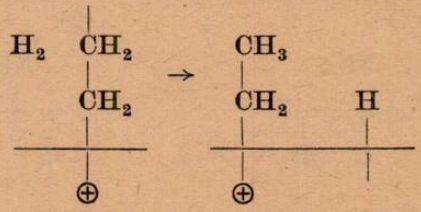
$CH_3CH_2pL + ClL \rightarrow CH_3CH_2Cl + L$; $\dot{C}lL + HeL \rightarrow HCl + \dot{e}L$

(2) *Adiții la o legătură dublă.*

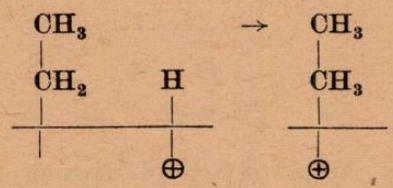
$C_2H_4 + H_2 \rightarrow C_2H_6$ pe catalizator MoO_3, $ZnO + Cr_2O_3$

(a) 

$C_2H_4 + \dot{p}L \rightarrow \dot{C}_2H_4pL$;

(b) 

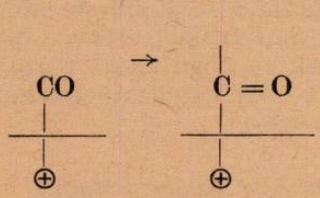
$H_2 + \dot{C}_2H_4pL \rightarrow C_2H_5pL + \dot{H}L$

(c) 

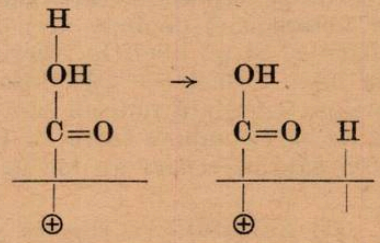
$\dot{C}_2H_5L + HpL \rightarrow C_2H_6 + \dot{p}L$

(3) *Oxidări sau reduceri cu distrugerea dublei legături.*

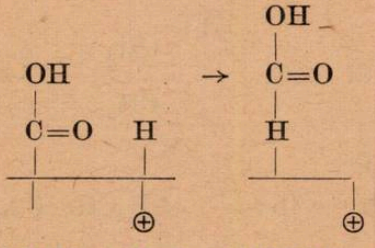
$CO + H_2O \rightarrow HCOOH$ pe catalizatori $CuCl_2$, CuJ_2, NaBr

(a) 

$CO + \dot{p}L \rightarrow \dot{C}OpL$;

(b) 

$\dot{C}OpL + HOH \rightarrow COOHpL + \dot{H}L$

(c) 

$\dot{C}OOHL + HpL \rightarrow HCOOH + \dot{p}L$

Teoria electronică a adsorbției pe semiconductori permite să se tragă următoarele concluzii:

1) La chemosorbția diverselor particule sînt posibile diferite forme de legătură („puternice" sau „slabe"), după capacitatea particulelor de a se combina cu electronii liberi sau cu golurile pozitive nelocalizate din rețea.

2) Reactivitatea particulelor adsorbite depinde de forma de legătură cu suprafața (valențe saturate sau forme radicalice).

3) În timpul stării adsorbite particulele pot trece de la o formă de legătură la alta, prin localizarea sau delocalizarea e^- și p^+ liberi.

4) Concentrația diferitelor forme de adsorbție (și deci și reactivitatea particulelor adsorbite) depinde de poziția nivelului Fermi.

5) Ca urmare poziția nivelului Fermi determină activitatea catalizatorilor față de o anumită reacție și selectivitatea față de două reacții paralele.

Poziția nivelului Fermi poate fi modificată prin introducerea în catalizator a anumitor impurități (care crează defecte în rețea) sau prin adsorbția dirijată pe suprafață a unor gaze străine (care creează defecte la suprafață). Reglînd concentrația acestor defecte se poate modifica activitatea și selectivitatea catalizatorilor. Asupra nivelului Fermi mai influențează și iluminarea catalizatorului sau aplicarea unui cîmp electric exterior.

6. Adsorbția pe metale.

La adsorbția gazelor pe metale s-au pus în evidență prin măsurarea momentului de dipol μ, două tipuri de legături:

— legături ionice, care au μ mare și în care gazul se adsoarbe sub formă cationică sau anionică.

— legături covalente și covalent coordinative, cu valori μ mici.

(a) *Legăturile ionice* apar în special la adsorbția pe unele metale netranziționale. Reprezentînd spectrul energetic al metalului și curba de energie potențială a electronilor în atomul adsorbit (fig. 7) se poate înțelege

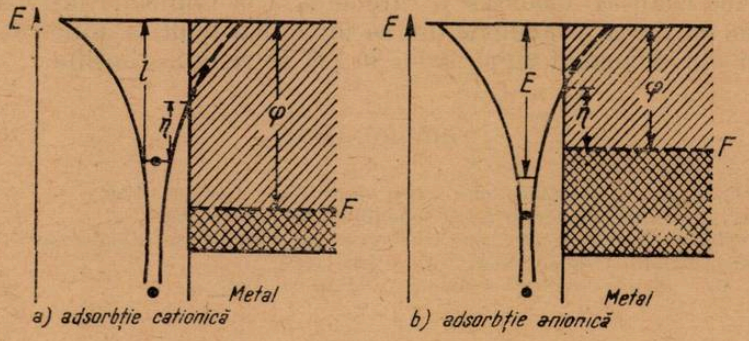


Fig. 7

F — nivelul Fermi; I — energia de ionizare a atomului adsorbit; E — afinitatea pentru electron a atomului adsorbit; φ — lucrul de extracție a electronului din metal

ușor mecanismul adsorbției ionice, prin transfer de electroni de la atomul adsorbit către metal (adsorbție cationică) sau în sens invers (adsorbție anionică). Dacă cel mai înalt nivel electronic ocupat al atomului adsorbit se găsește deasupra nivelului Fermi al metalului este posibilă tranziția electronului spre metal și adsorbția se face ca ion pozitiv. După Dowden, adsorbția cationică se face cu atît mai ușor cu cît bariera de energie η, la tranziția electronului este mai mică, adică cu cît lucrul de extracție al metalului φ, este mai mare și energia de ionizare I, a atomului adsorbit

este mai mică. Adsorbția anionică are loc atunci cînd nivelul Fermi al metalului se află deasupra primului nivel electronic neocupat al atomului adsorbit. Ea este favorizată, dimpotrivă, de valori mici ale lucrului de extracție al metalului φ și de o afinitate mare pentru electron E, a gazului adsorbit.

(b) *Legăturile covalente* apar la adsorbția gazelor pe metalele tranziționale, la care există nivele electronice vacante provenite din orbitalele d incomplete, capabile să formeze legături covalente cu atomii sau moleculele adsorbite. Dacă din partea moleculei adsorbite participă un dublet de electroni liberi, atunci se crează o legătură covalentă coordinativă foarte puternică (cum este cazul la adsorbția NH_3, piridinei, tiofenului ca „otrăvuri" pe catalizatori).

Metalele cele mai active la chemosorbția gazelor sînt metalele tranziționale. După teoria lui Trapnell numai acestea pot forma legături covalente, explicîndu-se astfel marea capacitate de adsorbție a H_2, N_2, CO, C_2H_4, O_2, pe metale tranziționale cu orbitali d incompleți : W, Ta, Mo, Ti, Zr, Fe, Ni, Pt, Rh, Pd. Cele mai puțin active la chemosorbția acelorași gaze sînt metalele grupelor principale (care nu au orbitali d vacanți) : Zn, Cd, In, Sn, Pb, Ag. Pe unele metale netranziționale (Cu, Al, Au) sînt posibile adsorbții covalente prin crearea unor orbitale d vacante în urma excitării $d \rightarrow s$. Astfel se pot adsorbi CO, C_2H_4, C_2H_2. Pe alte metale netranziționale (K) adsorbția se face în forme ionice (ca de exemplu adsorbția C_2H_2 sub forma unor acetiluri ionice).

Volumul cercetărilor destinate chemosorbției pe metale și semiconductori și legăturii acesteia cu cataliza heterogenă este din ce în ce mai mare. Deși nu lipsesc datele contradictorii, deși teoria electronică s-a dovedit uneori a fi limitată, totuși aceste cercetări în care și-au făcut loc teoriile cuantice moderne și care se află la limita de întrepătrundere a chimiei cu fizica, contribuie din ce în ce mai mult la aducerea teoriilor catalizei din domeniul empiricului în cel al rigorii științifice.

BIBLIOGRAFIE

1. *Trapnell, B. M.* : „Chemisorbtion" ,(Hayward, Ed.), London, 1964.
2. *Sergiescu, V.* : „Introducere în fizica solidului", București, 1956.
3. *Volkenstein, F. F.* : „The electronic theory of catalysis on semiconductors", (Pergamon Press), Oxford, London, New York, Paris, 1963.
4. *Garner, W.* : „Himia tverdogo sostoiania", Moscova, 1961.

STUDIUL OSCILATORILOR CU DIODE TUNEL ȘI LINII DE INTIRZIERE

M. JITARU, Iași

În lucrarea de față se prezintă pe scurt rezultatele obținute în urma unui studiu detailat al funcționării diodelor tunel în : (a) regim de oscilații de relaxare, avînd drept parametri inductanța și rezistența introduse în serie cu dioda și tensiunea de polarizare a diodei ; (b) regim de oscilație, în serie sau în paralel cu dioda fiind introdusă o linie de întîrziere (un cablu coaxial).

Dioda tunel este în esență o joncțiune *pn* formată din materiale semiconductoare degenerate (materiale la care nivelul Fermi este situat în interiorul zonei de conducție (tip *n*) sau în interiorul zonei de valență (tip p). Aceasta face ca grosimea joncțiunii propriu-zise să fie de ordinul a 50—100 Å. Procesele de difuzie a purtătorilor din joncțiunea obișnuită sînt înlocuite, în aceste condiții, cu procese de tunelare a purtătorilor prin bariera de potențial a joncțiunii. Aceste procese determină o alură cu totul deosebită pentru caracteristica curent-tensiune a diodei și anume se obține o caracteristică ce conține o porțiune unde rezistența este negativă. Dioda tunel folosită a fost de tipul АИ 301 Б avînd următorii parametri: capacitatea de aproximativ 20 pF, rezistența și inductanța serie de aproximativ 5 Ω și respectiv 5 nH. Trasarea caracteristicii statice a diodei s-a făcut într-un montaj simplu (fig. 1), în care elementele se aleg așa fel încît să fie îndeplinită condiția de stabilitate a diodei.

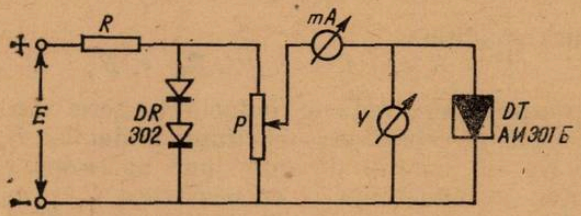


Fig. 1

Porțiunea unde rezistența este negativă a fost obținută prin extrapolare (fig. 2, curba continuă). Pentru aproximarea ei (v. fig. 2, curba punctată) s-a folosit relația:

$$I = a\,(U_v - U)^2\, th\left(\frac{1}{2}\frac{eU}{kT}\right) + g_s U$$

dată de K. Tarnay [1], relație care, după cum reiese din figură, aproximează suficient de bine porțiunea de rezistență negativă a caracteristicii.

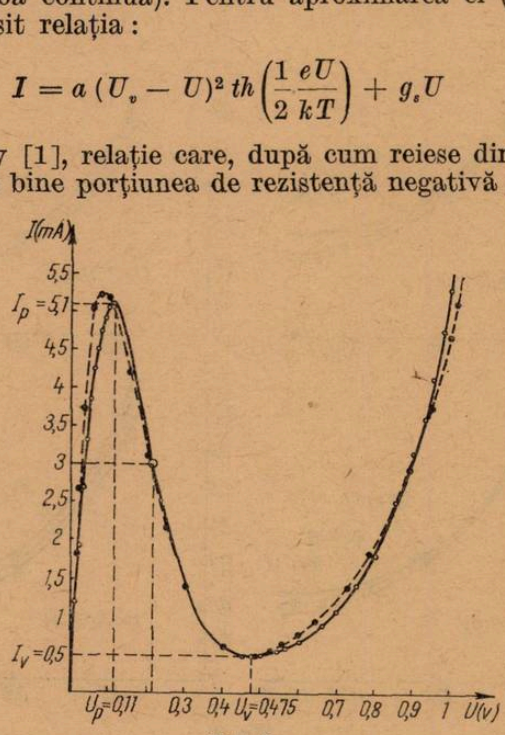


Fig. 2

În cazul nostru constantele a și g_s au valorile:

$$a = 38{,}1 \cdot 10^{-3}\ V^{-1} \text{ și } g_s = 1{,}05 \cdot 10^{-3}\ \Omega^{-1}.$$

Valorile celorlalți parametri ai diodei se deduc din caracteristica statică.

a) *Regimul de oscilații de relaxare.* Dioda se introduce într-un montaj de tipul indicat în fig. 3. Pentru ca dioda să funcționeze în acest regim

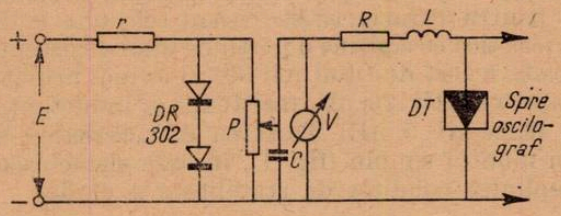


Fig. 3

trebuie îndeplinită condiția:

$$R + R_s < ((L + L_s)/C_j\ R_0) < R_0$$

unde R_s, L_s reprezintă rezistența și inductanța serie din schema echivalentă a diodei tunel, C_j capacitatea joncțiunii diodei, iar R_0 este modulul rezistenței negative în punctul de inflexiune al caracteristicii statice. Variația frecvenței, cu inductanța L, cu rezistența R, și cu tensiunea de polarizare a diodei, este arătată în graficele din fig. 4. Din ele putem con-

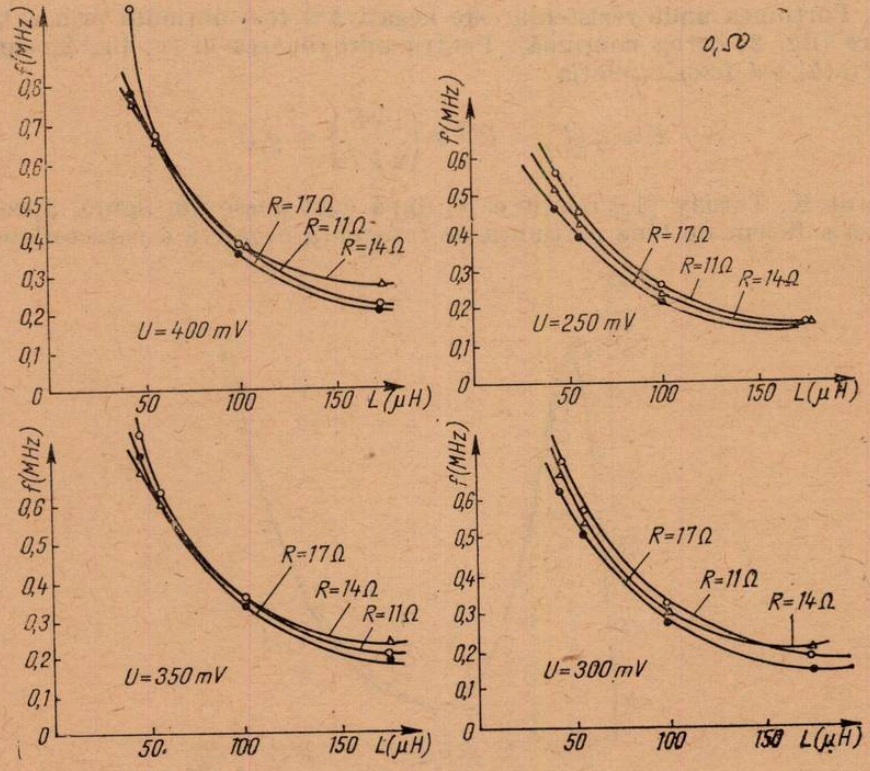


Fig. 4

chide că: 1) Frecvența crește pe măsură ce punctul de funcționare se apropie de tensiunea de vale ($U_v = 0{,}475$ V); 2) Micșorarea valorii inductanței L conduce la o creștere puternică a frecvenței de oscilație; 3) Mărirea rezistenței R determină o ușoară scădere a frecvenței.

Studiul teoretic al acestui regim e destul de complicat, el reducîndu-se la analiza, cu ajutorul metodelor teoriei neliniare a oscilației, a unor ecuații de tip Van der Pol [2].

b) Dacă inductanța L este înlocuită cu o linie de întîrziere scurtcircuitată, se obține *oscilatorul cu linie de întîrziere de tip serie* (fig. 5). Studiul teoretic al acestui tip de oscilator s-ar realiza dacă am rezolva sistemul de ecuații al telegrafiștilor cu condiții la limită neliniare, condiții impuse de caracteristica neliniară a diodei. Cazul cînd se neglijează pierderile în linie precum și capacitatea paralelă și inductanța serie a diodei tunel, a fost analizat de Nagumo și Shimura [3]. Calitativ funcționarea unui astfel de oscilator se poate explica în modul următor. Presupunem că neglijăm pierderile în linie precum și capacitatea și inductanța serie a diodei. Atunci circuitul echivalent este cel arătat în fig. 6, unde Z_c

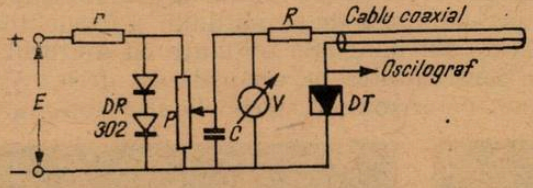


Fig. 5

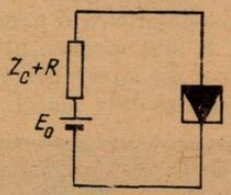


Fig. 6

este impedanța caracteristică a liniei și care este pur rezistivă în aceste condiții. Punctul de funcționare rezultant, P_1, se poate determina prin trasarea unei drepte de sarcină, ce corespunde lui $Z_c + R$ și E_0, pe caracteristica diodei tunel (fig. 7). Funcționarea în P_1, poate avea loc prin impri-

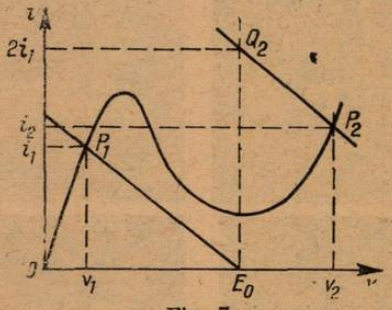


Fig. 7

marea unei tensiuni negative, $(V_1 - E_0)$ și a unui curent pozitiv i_1 pe linie. Aceste polarități sînt consistente cu o undă care pleacă de la diodă. Această undă este reflectată de scurtcircuit, cu tensiunea inversată și se propagă înapoi spre diodă. La diodă, în general, va exista o reflexie și o a treia undă se va propaga pe linie spre scurtcircuit. A treia undă e determinată prin faptul că suma celor trei unde trebuie să fie consistentă cu caracteristica diodei. Considerînd mai întîi doar primele două unde și tensiunea E_0, rezultă că după ce cea de a doua undă a atins dioda, tensiunea rezultantă pe diodă este E_0, iar curentul rezultant în diodă $2i_1$ (punctul Q_2 în fig. 7). Dar trebuie să considerăm și tensiunea și curentul celei de a treia unde, ce pleacă de la diodă, al căror raport este $-(Z_c + R)$.

Atunci al doilea punct de funcționare P_2, poate fi găsit ducînd prin Q_2 o a doua dreaptă de sarcină, paralelă cu prima. Procedînd la fel se poate găsi poziția celui de al treilea punct de funcționare ș.a.m.d., pînă cînd ciclul se repetă. Din analiza simplificată de mai sus se poate conchide că forma oscilațiilor este determinată de salturi ale punctului de funcționare pe caracteristica neliniară a diodei. Aceste salturi se datorează undelor care pleacă sau sosesc la diodă. În cazul real trebuie să ținem cont de toți factorii neglijați mai sus. Pierderile în linie au o influență asupra punctelor Q_n, care la rîndul lor determină poziția punctelor P_n. Deoarece amplitudinile undelor directe și reflectate de scurt-circuit nu sînt egale, este clar că atît abscisele cît și ordonatele punctelor Q_n se vor modifica față de cele prezentate mai sus. Dacă capacitatea paralelă și inductanța serie a diodei nu sînt neglijabile, ele vor perturba de asemenea modelul ideal expus mai sus prin timpii necesari pentru încărcarea și descărcarea lor.

Un fapt interesant care se observă în studiul experimental al acestui tip de oscilator este obținerea unui fenomen de histerezis. Pentru același punct de funcționare, în funcție de evoluția anterioară a sistemului se obțin oscilații avînd aceeași perioadă însă de amplitudini și forme diferite. În fig. 8 sînt prezentate cîteva din imaginile obținute cu ajutorul unui oscilograf de tipul TR 4401. Sensibilitatea pe verticală era de 0,1 V/diviziune și de 0,02 μs/diviziune, pe orizontală. Primele trei fotografii au

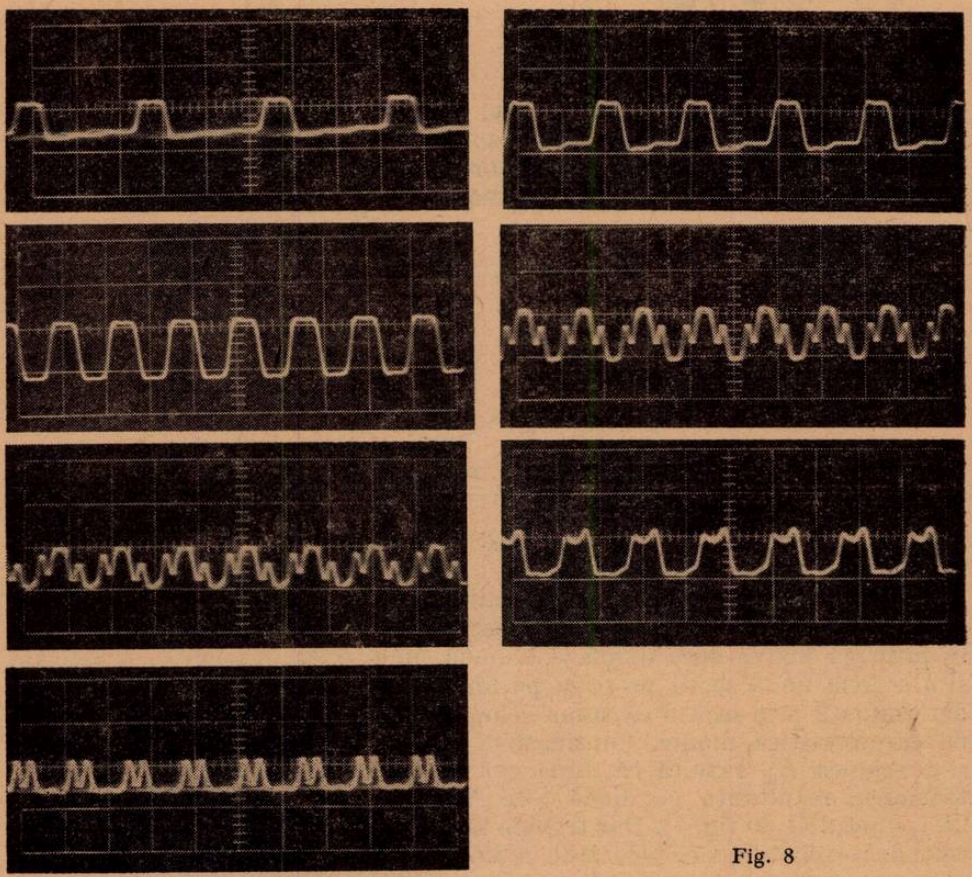
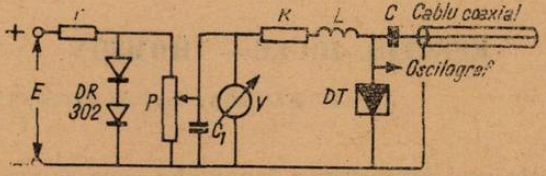


Fig. 8

fost obținute în cazul cînd punctul de funcționare era deplasat de la tensiuni mici spre tensiuni mari și corespund tensiunilor pe diodă de 0,175 V, 0,250 V și 0,450 V respectiv. Următoarele 4 corespund cazului sînd sistemul evolua de la tensiuni mari spre tensiuni mici. Pentru ele tensiunile pe diodă erau de 0,400 V, 0,300 V, 0,275 V și 0,180 V. Acest fenomen de histerezis s-ar putea explica prin faptul că oscilatorul funcționează într-un regim dur de autoexcitare, regim în care forma și amplitudinea oscilației, pentru o polarizare dată, depinde de sensul în care evoluează sistemul [4]. În primele trei imagini din fig. 8 se observă acele creneluri. Durata lor coincide exact cu timpul de propagare dus-întors al undei pe linie, T. Astfel cele trei moduri proprii înregistrate, ale liniei, au perioadele $4T$, $3T$ și respectiv $2T$. Deci ca și în cazul oscilatorului de relaxare frecvența de oscilație crește pe măsură ce punctul de funcționare se apropie de tensiunea de vale, însă oscilațiile obținute au o frecvență mai mare.

Dacă linia de întîrziere se conectează în paralel cu dioda tunel, cuplajul dintre linie și diodă făcîndu-se prin intermediul condensatorului C, se obține *oscilatorul cu linie de întîrziere de tip paralel* (fig. 9).



Ca și în cazul oscilatorului de tip serie cînd sistemul evoluează de la tensiuni mici spre tensiuni mari se obțin aceleași moduri proprii (dacă linia e identică cu cea din montajul de tip serie). Cînd punctul de funcționare e deplasat de la tensiuni mari la tensiuni mici, oscilațiile înregistrate sînt complet diferite. În fig. 10 sînt arătate cîteva dintre ele, tensiunile pe

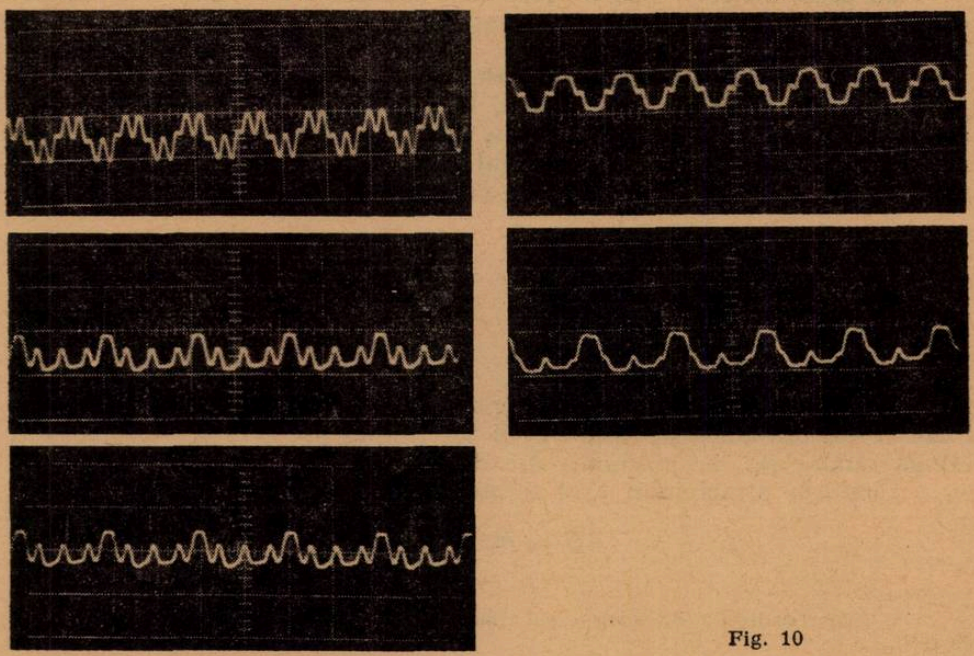


Fig. 10

diodă fiind respectiv 0,460 V, 0,260 V, 0,215 V, 0,180 V și 0,170 V. Spre deosebire de oscilatorul de tip serie, oscilațiile înregistrate sînt mult mai pure și mai stabile în acest caz.

În încheiere autorul mulțumește tov. Conf. dr. D. Sandu pentru discuțiile utile purtate pe marginea problemelor expuse mai sus.

BIBLIOGRAFIE

1. *K. Tarnay*: Proc. IRE, *50*, 202 (1962).
2. *B. Bollée*: Acta Electronica, *7*, 245 (1963).
3. *J. Nagumo, M. Shimura*: Proc. IRE, *49*, 1281 (1961); Proc. IRE, *50*, 1830 (1962).
4. *B. P. Aseev*: Bazele radiotehnicii, București, Ed. Energetică de Stat, 1952, p. 528.
5. *M. Pătrușescu*: Diodele tunel și utilizarea lor, București, Ed. Acad. R.S.R., 1968, cap. V.

EFECTUL JOULE – THOMSON

ULIU FLOREA, Cat. de Fizică, Univ. Craiova

Unul din cele mai importante fenomene care se studiază în cadrul termodinamicii este așa-numitul efect Joule-Thomson. El este important atît din punct de vedere teoretic (servește ca exemplu de proces izoentalpic), cît și din punct de vedere practic (stă la baza răcirii și lichefierii gazelor prin destinderi succesive).

În acest articol, după o prezentare sumară a efectului vom discuta consecințele lui și vom da interpretarea statistică corespunzătoare pe baza unui model simplificat.

I. Într-un tub de formă cilindrică, izolat adiabatic de mediul înconjurător, curge staționar un gaz real. În interiorul tubului se află un dop confecționat dintr-un material poros, prin care gazul poate trece dintr-o parte în cealaltă. Dacă la momentul inițial în partea stîngă a dopului se găsea un mol de gaz *) în stare de echilibru la presiunea p_1, atunci,

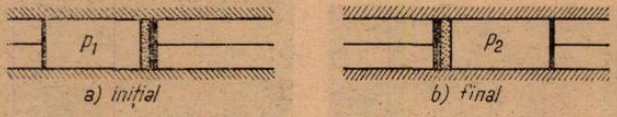


Fig. 1

prin deplasarea lentă a unui piston, gazul trece în partea dreaptă a dopului unde el are presiunea p_2 (Fig. 1). În tot timpul procesului presiunea din stînga rămîne p_1, iar presiunea din dreapta p_2.

Conform principiului I al termodinamicii avem :

$$\mathrm{d}U = \delta Q - p\mathrm{d}V, \tag{1}$$

*) Toate rezultatele ulterioare se pot transcrie ușor pentru cazul unui număr oarecare de moli.

unde U este funcția de energie internă.

Ținînd cont de faptul că sistemul este izolat adiabatic, prin integrarea relației anterioare obținem:

$$U_2 - U_1 = -p_1 \int_{V_1}^{0} dV - p_2 \int_{0}^{V_2} dV = p_1 V_1 - p_2 V_2$$

sau:

$$U_2 + p_2 V_2 = U_1 + p_1 V_1. \tag{2}$$

În termodinamică mărimea $H(T, p) = U + pV$ se numește entalpie. Putem scrie:

$$H(T_1, p_1) = H(T_2, p_2). \tag{3}$$

Procesul Joule-Thomson este deci un proces izoentalpic.

Pentru descrierea din punct de vedere matematic a acestui proces se obișnuiește să se introducă următoarele mărimi:

1) Coeficientul izoentalpic:

$$\mu \equiv \left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_H. \tag{4}$$

2) Coeficientul izotermic:

$$\Phi \equiv \left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_T. \tag{5}$$

Acești coeficienți nu sînt independenți. Ei sînt legați prin relația:

$$\Phi = -\mu . C_p \tag{6}$$

unde C_p este capacitatea calorică molară la presiune constantă. Într-adevăr, cu ajutorul entalpiei, principiul I al termodinamicii poate fi scris sub forma:

$$dH = \delta Q + V dp. \tag{7}$$

Însă:

$$\delta Q = C_p \, dT, \tag{8}$$

și deci:

$$dH = C_p \, dT + V dp. \tag{9}$$

Deoarece $H = H(T, p)$ putem scrie:

$$dH = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p dT + \left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_T dp. \tag{10}$$

Din compararea relațiilor (9) și (10) obținem:

$$C_p = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p, \tag{11.a}$$

$$V = \left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_T \tag{11.b}$$

În baza relațiilor (5) și (11.b) putem scrie $V = \Phi$. Din relația (9), pentru

un proces izoentalpic (H = const.) putem scrie:

$$C_p \, dT = - V dp = - \Phi dp.$$

De aici:

$$\Phi = - C_p \left(\frac{dT}{dp} \right) = - C_p \left(\frac{\partial T}{\partial p} \right)_H = - C_p \mu,$$

adică tocmai relația (6).

II. În cele ce urmează vom discuta forma coeficienților μ și Φ, luînd ca ecuație de stare pentru gazul real, ecuația Van der Waals. Aceasta are forma:

$$(V - b) \left(p + \frac{a}{V^2} \right) = RT. \tag{12}$$

Mărimile a și b sînt legate de interacțiunea moleculelor, respectiv de volumul unei molecule. În general, la presiuni nu prea mari, $b \ll V$ astfel că termenii de forma b/V pot fi considerați ca termeni corectivi. Explicitînd presiunea putem scrie:

$$p = \frac{RT}{V - b} - \frac{a}{V^2} = \frac{1}{V} \left[\frac{RT}{1 - b/V} - \frac{a}{V} \right] \tag{13}$$

Dacă a și b se consideră egali cu zero atunci ecuația Van der Waals degenerează în ecuația $pV = RT$, care descrie comportamentul de gaz perfect. Ne propunem să determinăm acum forma energiei interne $U(T, V)$ și a entalpiei $H(T, p)$ pentru gazul real Van der Waals.

Din termodinamică se știe că:

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T = T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_V - p \tag{14.a}$$

respectiv:

$$\left(\frac{\partial H}{\partial p} \right)_T = V - T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p \tag{14.b}$$

Folosind relația (14.a) putem determina energia internă a gazului real în funcție de energia internă a gazului perfect.

Din ecuația (13) rezultă că:

$$\left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_V = \frac{R}{V - b}. \tag{15}$$

Substituind (13) și (15) în relația (14.a) obținem:

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T = \frac{a}{V^2}.$$

De aici, printr-o integrare simplă obținem:

$$U(T, V) = U_{perf.}(T) - \frac{a}{V} \tag{16}$$

Pentru a calcula entalpia gazului real nu putem să folosim relaţia (14.b) direct deoarece exprimarea lui V ca funcţie de T nu se poate face printr-o relaţie simplă. De aceea vom fi nevoiţi să lucrăm într-o primă aproximaţie.

Din ecuaţia Van der Waals putem scrie

$$V = \frac{RT}{p} + b - \frac{a}{pV} + \frac{ab}{pV^2}. \tag{17}$$

În membrul drept termenul RT/p descrie comportamentul de gaz perfect. De aceea ceilalţi termeni trebuie să fie consideraţi ca termeni corectivi. Dacă în aceşti termeni folosim aproximaţia $V = RT/p$ obţinem:

$$V = \frac{RT}{p} + b - \frac{a}{RT} + \frac{abp}{R^2T^2} + \cdots$$

Această aproximaţie este cu atît mai bună cu cît presiunea este mai mică, respectiv cu cît volumul este mai mare.

În baza relaţiei (17) putem scrie:

$$\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p = \frac{R}{p} + \frac{a}{RT^2} - \frac{2abp}{R^2T^3} + \cdots, \tag{18}$$

Substituind (17) şi (18) în relaţia (14.b) obţinem:

$$\left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_T = b - \frac{2a}{RT} + \frac{3abp}{R^2T^2} + \cdots$$

Neglijînd termenul al treilea din membrul drept, după o integrare simplă sîntem conduşi la următorul rezultat:

$$H(T, p) = H_{perf.}(T) + p\left(b - \frac{2a}{RT}\right) + \cdots \tag{19}$$

Din expresia entalpiei putem determina capacitatea calorică molară C_p (relaţia (11.a)). Obţinem:

$$C_p = (C_{perf.}) + \frac{2ap}{RT^2} + \cdots > 0 \tag{20}$$

Derivînd entalpia (19) în raport cu presiunea (la temperatură constantă) obţinem coeficientul izotermic sub forma:

$$\Phi = b - \frac{2a}{RT} + \cdots \tag{21}$$

Se observă că mărimea Φ se anulează pentru $T = T_i = 2a/bR$. Mărimea T_i poartă denumirea de *temperatură de inversiune*. Pentru $T > T_i$, coeficientul izotermic este pozitiv, iar pentru $T < T_i$, coeficientul izotermic este negativ.

Folosind relaţiile (6), (20) şi (21) putem determina forma coeficientului izoentalpic. Putem scrie:

$$\mu = \frac{\frac{2a}{RT} - b}{(C_p)_{perf} + \frac{2ap}{RT^2}}. \tag{22}$$

Deoarece C_p este o mărime pozitivă, din relația (22) putem spune că $\mu < 0$ pentru $T > T_i$, $\mu > 0$ pentru $T < T_i$ și $\mu = 0$ pentru $T = T_i$. Aceste concluzii rămîn valabile chiar și atunci cînd presiunea este egală cu zero. Dacă notăm cu μ_0 valoarea coeficientului izoentalpic pentru $p = 0$, putem da relației (22) următoarea formă:

$$\mu = \mu_0 \frac{(C_p)_{perf}}{(C_p)_{perf} + \frac{2ap}{RT^2}}. \tag{23}$$

În cazul cînd $T = T_i$, prin destindere (sau comprimare) temperatura gazului nu se modifică (vezi definiția lui μ — relația (4)). Dacă însă $T > T_i$, μ fiind negativ, rezultă că la o creștere a presiunii temperatura scade, iar la o scădere a presiunii, temperatura crește. Spunem că avem de-a face cu un *efect Joule-Thomson negativ*. Pentru $T < T_i$ coeficientul izoentalpic μ este pozitiv. Atunci, la creșterea presiunii crește și temperatura; la scăderea presiunii scade și temperatura. Avem un *efect Joule-Thomson pozitiv*. În acest caz repetînd de mai multe ori operația de destindere (scădere a presiunii) — lucru ce se poate realiza în cadrul unui ciclu — putem aduce temperatura gazului sub valoarea sa critică $8a/27\,Rb$. Continuînd procesul gazul se poate lichefia. Comparînd valoarea temperaturii de inversiune cu valoarea temperaturii critice se constată că prima este mai mare decît cea de-a doua de $27/4 = 6{,}75$ ori.

Principiul expus mai sus stă la baza construcției mașinilor cu ajutorul cărora se lichefiază gazele (ex. mașina Linde).

III. Am văzut că valoarea temperaturii de inversiune depinde de raportul mărimilor a și b. Așa cum am mai menționat, mărimea a depinde de natura potențialului de interacțiune moleculară (partea atractivă). Mărimea b depinde de dimensiunile moleculare. Putem considera că ea depinde de partea repulsivă a interacțiunii moleculare.

Un calcul statistic bazat pe metoda Ursell-Mayer arată că a și b au următoarele expresii:

$$a = 2\pi k N_0^2\, T \int_{\sigma}^{+\infty} (e^{-\frac{V(r)}{kT}} - 1)\, r^2\, dr \tag{24}$$

$$b = \frac{2}{3} N_0 \pi \sigma^3. \tag{25}$$

În aceste expresii N_0 este numărul lui Avogadro, σ este diametrul unei molecule, iar k este constanta lui Boltzmann. $V(r)$ este potențialul de interacțiune a două molecule.

Se poate observa că mărimea a nu este o constantă; ea depinde esențial de temperatură. Aceasta înseamnă că aproximațiile făcute în paragraful precedent nu sînt întru totul justificate. Ele pot fi considerate valabile în domenii de temperatură nu prea largi. În cele ce urmează ne propunem să reluăm considerentele făcute anterior ținînd cont de dependența de temperatură a parametrului a. Mai întîi, capacitatea calorică molară la presiune constantă C_p, se modifică în felul următor:

$$C_p = (C_p)_{perf} + \frac{2ap}{RT^2} - \frac{2a}{RT}\left(\frac{da}{dT}\right) + \cdots \tag{26}$$

Coeficientul izotermic Φ rămînînd nemodificat vom putea scrie pentru coeficientul izoentalpic μ, expresia:

$$\mu = \frac{\frac{2a}{RT} - b}{(C_p)_{perf} + \frac{2ap}{RT^2} - \frac{2p}{RT}\left(\frac{da}{dT}\right)} \tag{27}$$

Vom considera potențialul $V(r)$ de forma următoare (fig. 2):

$$V(r) = \begin{cases} +\infty, \text{pentru } r < \sigma \text{ (partea repulsivă)} \\ -\varepsilon,\ \varepsilon > 0, \text{ pentru } \sigma < r < \alpha\sigma \\ 0, \text{ pentru } r > \alpha\sigma \end{cases} \tag{28}$$

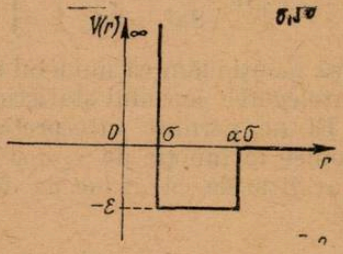


Fig. 2

unde α este un parametru adimensional, supraunitar. El va rămîne, pentru teoria pe care o prezentăm, un parametru ajustabil. De asemenea tot ca parametru ajustabil va fi considerat și ε, adîncimea gropii de potențial. Mărimea σ, așa cum am mai menționat, este diametrul unei molecule (sau distanța între centrele a două molecule în momentul ciocnirii lor).

Calculînd mărimea a obținem:

$$a = \frac{2\pi N_0 R}{3} T(\alpha^3 - 1)\,\sigma^3 (e^{-\frac{\varepsilon}{kT}} - 1), \tag{29}$$

unde $R = kN_0$. Studiul acestei funcții arată că $da/dT < 0$, adică a este o funcție descrescătoare de temperatură. Aceasta arată că termenul al treilea din relația (26) este pozitiv, deci C_p este într-adevăr pozitiv.

Deoarece numitorul relației (27) este pozitiv definit pentru orice temperatură, rezultă că sign μ = sign $(2a/RT - b)$, adică:

$$\mu > 0 \text{ pentru } \frac{a}{T} > \frac{Rb}{2}$$

$$\mu = 0 \text{ pentru } \frac{a}{T} = \frac{Rb}{2}$$

$$\mu < 0 \text{ pentru } \frac{a}{T} < \frac{Rb}{2},$$

După cum știm, valoarea lui T pentru care $\mu = 0$ se numește temperatură

de inversiune. Un calcul direct arată că aceasta are valoarea :

$$T_i = \left[\ln\left(\frac{2\alpha^3 - 1}{2\alpha^3 - 2}\right)^{k/\varepsilon}\right]^{-1} \tag{30}$$

Pentru $T < T_i$, $\mu > 0$, în timp ce pentru $T > T_i$, $\mu < 0$. În cazul $\mu > 0$ la o creştere a presiunii, temperatura creşte, în timp ce pentru $\mu < 0$ la o creştere a presiunii, temperatura scade.

Calculul parametrilor critici în acest model ne conduce la următoarele expresii :

$$\left.\begin{aligned} V_c &= 2\pi N_0 \sigma^3 \\ p_c &= \frac{3k}{16\,\pi\sigma^3} T_c \\ T_c &= \left[\ln\left(\frac{8\alpha^3 + 19}{8\alpha^3 - 8}\right)^{k/\varepsilon}\right]^{-1} \end{aligned}\right\} \tag{31}$$

În încheiere vrem să menţionăm că modelul simplificat pe care l-am expus este util pentru înţelegerea sensului statistic al mărimilor ce caracterizează gazele reale. El ne permite interpretarea mărimilor T_i, T_c, V_c, p_c, mărimi macroscopice în funcţie de α, σ şi ε, mărimi microscopice. Un dezavantaj evident ar fi acela că în loc de doi parametri (a şi b) se introduc trei (α, σ şi ε).

CARACTERIZAREA STĂRII UNUI SISTEM CU UN NUMĂR MARE DE PARTICULE DE CĂTRE SPINUL PARTICULELOR DIN ACEL SISTEM

ADINA GOLDEMBERG, Inst. Politehnic, Iaşi

Dacă sistemele cu un număr mic de particule sînt bine descrise de funcţia de undă, în cadrul sistemelor cu mai multe particule trebuie folosit operatorul statistic numit matrice a densităţii, care este analogul cuantic al funcţiei de distribuţie din statistica clasică. *)

Starea unui sistem cu un număr mare de particule fiind bine caracterizată de matricea densităţii, să studiem ce legătură există între matricea densităţii, ρ şi spinul particulelor din acel sistem.

Forma acestei dependenţe pentru cazul general (spin j) este sugerată de generalizarea acestei dependenţe în cazul particulelor de spin 1/2. Astfel, trebuie studiată mai întîi forma matricii densităţii în cazul electronilor.

Pentru a simplifica problema, neglijăm efectele relativiste (neglijăm stările de energie negativă) în studiul proprietăţilor orientării spinului, ceea ce duce la faptul că starea sistemului de electroni va putea fi determinată de o matrice de densitate de tip 2×2 în loc de 4×4. Astfel,

*) Vezi Rev. Fiz. Chimie A. Vol. VII, nr. 10, oct. 1970.

pentru a determina complet starea sistemului (matricea densității) sînt necesari 3 parametri independenți (4 elemente matriceale și condiția $\mathrm{Tr}\,\rho = 1$).

Astfel de parametri care determină complet matricea densității pot fi cele trei componente ale vectorului de polarizare $\vec{P}$, definit de relația

$$\vec{P} = <\hat{\vec{\sigma}}> = \mathrm{Tr}\,(\rho\hat{\vec{\sigma}}) \tag{1}$$

unde σ_i $(i = 1, 2, 3)$ sînt matricile lui Pauli.

Într-adevăr, matricile lui Pauli $\vec{\sigma}$, împreună cu matricea unitate I de tip 2×2 formează, pînă la o constantă $K=2$, un sistem ortonormat cu produsul scalar definit de:

$$(\mathbf{D}_1 . \mathbf{D}_2) = \mathrm{Tr}\,\mathbf{D}_1\mathbf{D}_2 \tag{2}$$

unde $\mathbf{D}_i$ sînt una din matricile $\mathbf{I}$, σ_x, σ_y, σ_z. Deci sistemul $\mathbf{I}$, σ_x, σ_y, σ_z constituie o bază ortonormată în spațiul matricilor de tip 2×2 și matricea densității ρ pentru un sistem de mai mulți electroni, în cazul nerelativist se poate scrie ca o combinație liniară de $\mathbf{I}$ și $\vec{\sigma}$:

$$\rho = C_1\mathbf{I} + \vec{C} . \vec{\sigma}. \tag{3}$$

Din condiția $\mathrm{Tr}\,\rho = 1$ și definiția (1) pentru vectorul de polarizare, determinăm unic constantele din relația (3) și astfel:

$$\rho = \frac{1}{2}(\mathbf{I} + \vec{P} . \vec{\sigma}) \tag{4}$$

sau

$$\rho = \frac{1}{2}\begin{pmatrix} 1 + P_z & P_x - iP_y \\ P_x + iP_y & 1 - P_z \end{pmatrix}$$

Deci matricea densității ρ, a unui sistem de mai mulți electroni este determinată unic de vectorul de polarizare $\vec{P}$. Vectorul de polarizare $\vec{P}$ se poate determina ușor din ecuația sa de mișcare. De aici apare necesitatea de a cunoaște ecuația de mișcare a vectorului de polarizare. Pentru aceasta folosim ecuația de mișcare pentru valorile medii ale operatorilor ce acționează asupra unui sistem de electroni, (ρ dat de relația (4)) și notăm cu $\hat{\mathbf{H}}_s$ hamiltonianul ce se referă la coordonatele spinoriale ale sistemului adică

$$\hat{\mathbf{H}}_s = -\hat{\vec{\mu}}\vec{\mathcal{H}} = -\frac{1}{2}\gamma\hbar\hat{\vec{\sigma}}\vec{\mathcal{H}}$$

unde $\vec{\mathcal{H}}$ este cîmpul magnetic, în care se află electronii, iar $\gamma = e/mc$ este factorul giromagnetic. Astfel:

$$\frac{\partial\vec{P}}{\partial t} = \frac{\partial <\hat{\vec{\sigma}}>}{\partial t} = -\frac{\mathrm{i}}{\hbar} <[\hat{\vec{\sigma}}, \vec{\mathbf{H}}_s]>$$

unde s-a notat: $<\cdots>$ valoarea medie a operatorilor pe acel sistem și $[,]$ = comutatorul a doi operatori.

Folosind identităţile :

$$[\hat{\vec{\sigma}}, \hat{\vec{\sigma}}.\vec{\mathcal{H}}] = \vec{\mathcal{H}} \times (\hat{\vec{\sigma}} \times \hat{\vec{\sigma}}) = 2i\vec{\mathcal{H}} \times \hat{\vec{\sigma}}$$

care se verifică uşor, ajungem la ecuaţia de mişcare pentru vectorul de polarizare $\vec{P}$:

$$\frac{\partial \vec{P}}{\partial t} = -\gamma \vec{\mathcal{H}} \times \vec{P}. \tag{5}$$

Practic, starea sistemului de electroni se determină găsind $\vec{P}$ din ecuaţia (5) şi înlocuindu-l în relaţia (4).

Găsirea ecuaţiei de mişcare pentru vectorul de polarizare al unui sistem de particule de spin j definit de relaţia :

$$\vec{P} = \frac{<\vec{J}>}{j\hbar}$$

urmează o cale complet analogă celei de mai sus.

Aci momentul cinetic de spin $\vec{J}$ satisface relaţia :

$$\vec{J} \times \vec{J} = i\hbar\vec{J},$$

iar hamiltonianul de spin $\hat{\mathbf{H}}_s$ este :

$$\hat{\mathbf{H}}_s = -\hat{\vec{\mu}} \cdot \vec{\mathcal{H}} = -\gamma \hat{\vec{\mathbf{J}}} \cdot \vec{\mathcal{H}}.$$

Din identităţile :

$$[\hat{\vec{\mathbf{J}}}, \hat{\vec{\mathbf{J}}} \cdot \vec{\mathcal{H}}] = \vec{\mathcal{H}} \times (\hat{\vec{\mathbf{J}}} \times \hat{\vec{\mathbf{J}}}) = i\hbar\vec{\mathcal{H}} \times \hat{\vec{\mathbf{J}}}$$

rezultă ecuaţia de mişcare pentru vectorul de polarizare al unui sistem de particule de spin j :

$$\frac{\partial \vec{P}}{\partial t} = -\gamma \vec{\mathcal{H}} \times \vec{P}. \tag{5'}$$

Dar vectorul de polarizare $\vec{P}$ al unui sistem de particule de spin j nu poate determina unic starea sistemului. În cazul electronilor matricea densităţii era de tip 2×2 adică $\left(2 \cdot \frac{1}{2} + 1\right) \times \left(2 \cdot \frac{1}{2} + 1\right)$. În cazul particulelor de spin j, matricea densităţii va fi de tipul $(2j + 1) \times (2j + 1)$. Numărul de parametri independenţi ce poate determina complet matricea densităţii va fi de $(2j + 1)^2 - 1$. Trei dintre aceştia vor fi cele trei componente ale vectorului de polarizare, pe care îl putem găsi uşor din relaţia (5').

Trebuie deci generalizată dependenţa matricii densităţii de spin pentru particule cu spin oarecare j.

Pentru cazul electronilor, baza ortonormată după care se dezvolta ρ era formată din cei patru operatori $\mathbf{I}$, σ_x, σ_y, σ_z. Pentru cazul particulelor de spin j se aleg $(2j + 1)^2$ operatori $\mathbf{U}_l$, hermitici şi ortonormaţi,

adică $\mathrm{Tr}\{\mathbf{U}_i \cdot U_j\} = C\delta_{ij}$, unde, dacă nu există altă specificare se poate alege $C = 1$.

Astfel, matricea densității ρ de tip $(2j+1) \times (2j+1)$ se poate dezvolta după baza ortonormată $\{\mathbf{U}_i\}_{i=1}^{(2j+1)^2}$, adică:

$$\rho = \sum_{i=1}^{(2j+1)^2} C_i \mathbf{U}_i \tag{6}$$

unde C_i sînt numere.

Conform condiției $\mathrm{Tr}\,\rho = 1$, unul din operatorii $\mathbf{U}_i$ se poate alege matricea unitate $\mathbf{I}$ din spațiul matricilor de tip $(2j+1) \times (2j+1)$, de exemplu alegem $\mathbf{U}_1 = D\mathbf{I}$, unde D este o constantă care se poate determina din condiția de mai sus și rezultă: $D = (2j+1)^{-1/2}$.

Atunci $C_1 = (2j+1)^{-1/2}$, deoarece $C_i = < \mathbf{U}_i >$. Ceilalți parametri C_i se determină din ecuațiile lor de mișcare. Găsim ecuațiile de mișcare ale parametrilor C_i folosind ecuația de mișcare a matricei densității:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -i\hbar^{-1}[\mathbf{H}, \rho]$$

(cu $\mathbf{H}$ = hamiltonianul sistemului) și relația (6). Astfel se ajunge la ecuația de mișcare pentru parametri C_i:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = \sum_k i\hbar^{-1}\,\mathrm{Tr}\{\mathbf{H}[\mathbf{U}_i, \mathbf{U}_k]\}\, C_k$$

Cu parametrii C_i determinați din acest sistem rezultă că matricea densității din relația (6) se poate unic determina, dacă sînt cunoscuți operatorii $\mathbf{U}_i$. Pentru comoditatea calculelor se aleg cei $(2j+1)^2$ operatori multipoli, aparținînd orientării particulelor de spin j, ca fiind matricea unitate $\mathbf{I}$ de tip $(2j+1) \times (2j+1)$ și $(2j+1)^2 - 1$, operatori $\mathbf{U}_{lm}$ astfel încît $\mathbf{U}_{lm}$ să se transforme la rotațiile de coordonate ca și armonicele sferice $\mathbf{Y}_{lm}(\theta, \varphi)$, cu l parcurgînd $2j$ valori, iar m parcurgînd valori întregi de la $-l$ la l.

Pentru un l dat, cei $2l+1$ operatori $\mathbf{U}_{lm}$ reprezintă momentul 2^l — polar al particulei pînă la o constantă de normalizare.

În concluzie, pentru determinarea completă a matricii densității care descrie starea unui sistem de mai multe particule cu spinul j, în afară de cunoașterea vectorului de polarizare dipolară $\vec{P}$ mai sînt necesari $(2j+1)^2 - 4$ parametri independenți.

De exemplu dacă $j = 1$ matricea densității este de tip 3×3 și în afara cunoașterii polarizării dipolare $\vec{P}$ mai sînt necesari 5 parametri independenți pentru determinarea completă a lui ρ. Se aleg aceștia ca fiind cele 5 componente ale tensorului de polarizare quadrupolar.

Pentru $j > 1$ va fi necesară și cunoașterea celor 7 componente ale tensorului de polarizare octupolar, etc.

În general matricea densității ce descrie particule cu spin j va fi complet determinată de cele $(2l+1)$ componente ale tensorului de polarizare 2^l, unde $1 \leqslant l \leqslant 2j$, l luînd valori întregi.

LASERI CU CORP SOLID ȘI APLICAȚII

R. DABU, C. FENIC, G. NEMEȘ, I.F.A. București

1. Introducere

Primul laser cu solid și în același timp primul laser din lume, a fost cel realizat de Maiman în anul 1960. El a folosit ca mediu activ rubin (cristal de Al_2O_3 dopat cu crom). Laserului cu $Cr^{3+}-Al_2O_3$ i-au urmat la scurt timp laserii realizați de Smith și Sorokin (cristal de CaF_2 dopat cu samariu) și Johnson și Nassau (cristal de $CaWO_4$ dopat cu neodim).

O etapă importantă în dezvoltarea laserilor cu solid a fost marcată de construirea în 1961 a laserului cu sticlă dopată cu Nd de către Snitzer. Ulterior au apărut și alte tipuri de laseri cu solid, cum ar fi : $Nd^{3+}-YAG$ (cristal de granat de Y și Al dopat cu Nd), laseri cu sticlă dopată cu diferite elemente din grupa pămînturilor rare (printre care laserii cu sticlă dopată cu $Nd^{3+}-Yb^{3+}$ și cu $Nd^{3+}-Yb^{3+}-Er^{3+}$), laserii cu semiconductori, de exemplu laserii cu GaAs, InP, GaSb, InAs, etc. Astfel, în prezent există două tipuri principale de laseri cu solid : cu dielectrici și cu semiconductori.

2. Aspecte fizice ale funcționării laserilor cu corp solid

2.1. Laseri cu solid dielectric.

Pentru explicarea funcționării laserilor cu solid dielectric, să considerăm fenomenele ce apar între 2 nivele oarecare, ale unui sistem de atomi, de energie E_1 și E_2, cu $E_2 > E_1$. În condiții obișnuite de echilibru termodinamic, numărul de atomi ce au energia unui anumit nivel (populația nivelului) este dat de o distribuție de tip Boltzmann : $N_i \sim e^{-\frac{Ei}{KT}}$; $i=1,2$ (în care N_i e populația nivelului i, E_i energia nivelului i, k = const. lui Boltzmann, T — temperatura absolută). De aici rezultă că pe nivelul energetic superior populația de atomi e mai mică decît pe nivelul inferior, $N_2 < N_1$. Saltul de energie de la un nivel la celălalt, e însoțit de următoarele fenomene cuantice de radiație electromagnetică : — *absorbție de radiație*, care duce la creșterea energiei atomului, de la E_1 la E_2 (deci creșterea populației nivelului cu energia E_2) ; în acest caz atomul, cîștigă energie de la cîmpul electromagnetic existent, deci absorbția implică existența radiației de frecvență $\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$, ($h$ e constanta lui Plank).

— *emisia spontană*, care însoțește revenirea atomului de pe nivelul de energie superior E_1 pe cel inferior E_2, după un anumit timp în care a stat pe nivelul E_2, numit „timp de viață al nivelului" ; în acest caz populația nivelului superior scade, iar diferența de energie se regăsește sub formă de cîmp electromagnetic „emis" (cuantic se spune că atomul a emis spontan un foton de frecvență ν) ; emisia spontană nu depinde de existența vreunui cîmp exterior atomului ;

— *emisia stimulată*, care însoțește revenirea atomului pe nivelul energetic inferior, revenire provocată (stimulată) de existența unui cîmp electromagnetic exterior atomului, de frecvență ν ; în acest caz diferența de energie se regăsește sub formă de cîmp electromagnetic de frecvență

ν, „emis" (cuantic, se spune că atomul a emis un foton de frecvenţă ν, stimulat de alţi fotoni de frecvenţă ν existenţi); emisia stimulată necesită existenţa unui cîmp electromagnetic de frecvenţă ν.

La scară macroscopică într-un mediu cu atomii distribuiţi pe nivelele E_1 şi E_2, în prezenţa unui cîmp electromagnetic de frecvenţă $\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$ toate cele trei procese descrise au loc simultan. Dacă $N_2 < N_1$, predomină absorbţia radiaţiei electromagnetice, dacă $N_2 > N_1$ predomină emisia stimulată a radiaţiei electromagnetice; emisia spontană nu depinde de existenţa cîmpului electromagnetic. Deoarece în condiţii normale (echilibru termodinamic) $N_1 > N_2$, mediul se comportă absorbant, atenuînd o radiaţie de frecvenţă ν ce îl traversează. Dacă se poate face $N_2 > N_1$ („inversie" de populaţie) mediul amplifică radiaţia de frecvenţă ν, devenind laser. Fenomenul laser este proprietatea de amplificare a radiaţiei optice prin emisie stimulată. El implică existenţa inversiei de populaţie; cu cît inversia este mai mare, cu atît amplificarea creşte. La

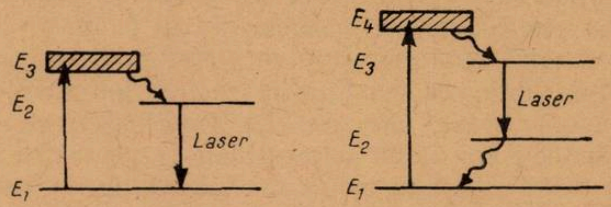


Fig. 1 — Schema energetică cu 3 şi 4 nivele la laserii cu dielectrici

laserii cu solid dielectric, inversia se creează folosind sisteme de atomi cu 3 sau 4 nivele energetice (Fig 1). Tranziţia laser (emisia stimulată) are loc între nivelele 2 şi 1 (la schema cu 3 nivele şi 3 şi 2 la schema cu 4 nivele). Pentru realizarea inversiei între acestea, atomii de pe nivelul 1 sînt „pompaţi" pe nivelul larg 3 (fig. 1 a), de unde ajung rapid, prin procese neradiative pe nivelul 2, cu durată de viaţă lungă. La sistemul cu 4 nivele, inversia între nivelul 3 şi 2 se realizează mai uşor datorită populaţiei scăzute a nivelului 2 comparativ cu 1. Pompajul se face cu cîmp electromagnetic de frecvenţă optică, de spectru de frecvenţe larg, care cuprinde lărgimea nivelului superior de absorbţie.

În rezumat, condiţiile pentru apariţia efectului laser sînt: nivelul larg superior de absorbţie, pentru eficienţa pompajului; durata de viaţă mare a nivelului superior laser; realizarea efectivă a inversiei de populaţie între cele 2 nivele laser; absorbţie mică a mediului pentru frecvenţa tranziţiei laser.

Din punct de vedere funcţional, laserii cu solid dielectric pot lucra în regim de amplificator sau oscilator. Ca amplificator, în mediul activ în care e realizată inversia de populaţie, se introduce o radiaţie coerentă de aceeaşi frecvenţă cu cea a tranziţiei laser, care iese amplificată. În regim de amplificator, mediul activ poate amplifica şi radiaţie necoerentă cu aceeaşi frecvenţă (provenită din emisia spontană — e de fapt un amplificator de zgomot cuantic — laserul de acest tip se numeşte supraradiant). La oscilator mediul activ se plasează într-o cavitate rezonantă pe frecvenţa tranziţiei, sistemul emiţînd radiaţie laser fără să i se aplice din exterior vre-o radiaţie.

După schema cu 3 nivele funcţionează laserul cu rubin, iar după cea cu 4 nivele cele cu Nd (în sticlă sau diferite cristale).

2.2. Laseri cu semiconductori

La semiconductori, în locul nivelelor discrete de energie de la dielectric, există benzi : banda de valenţă — ocupată de purtători, banda de conducţie, parţial ocupată, despărţite de banda interzisă, mai îngustă ca la dielectrici. Distribuţia după energie a purtătorilor nu mai este de tip Boltzmann, ci Fermi-Dirac :

$$N \sim \frac{1}{1 + e^{\frac{E-F}{KT}}}$$ unde E — energia purtătorilor
F — energia nivelului Fermi

Se deosebesc două tipuri de laseri cu semiconductori ; omogeni (cu un singur tip de semiconductor, tip **p**) şi cu joncţiune **pn**.

Pentru obţinerea de efect laser e necesară inversia de populaţie, adică să existe mai mulţi purtători în banda de conducţie decît în banda de valenţă. La semiconductori omogeni de tip **p**, inversia se realizează bombardînd cristalul semiconductor cu electroni (purtători minoritari), sau prin pompaj optic, cu condiţia ca energia fotonilor de pompaj să depăşească energia benzii interzise. La semiconductorii cu joncţiune, trebuie ca regiunile **p** şi **n** să fie puternic dopate, pentru ca nivelul Fermi în regiunea **p** să fie situat în banda de valenţă, iar în regiunea **n** — în banda de conducţie (Fig. 2 a). La polarizarea directă a joncţiunii, se reali-

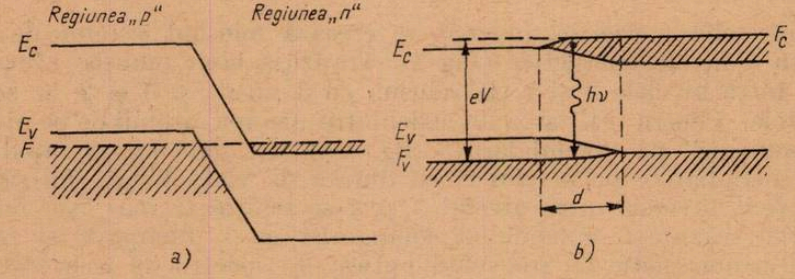


Fig. 2 — Schema energetică la laserii cu semiconductori cu joncţiune **pn**.

zează o injecţie de purtători minoritari (în ambele sensuri) care duc la o inversie de populaţie în vecinătatea joncţiunii (Fig. 2 b). Condiţia de inversie în acest caz este : $F_c - F_v > h\nu$, în care F_c, F_v — cvasinivelele Fermi în regiunea **n** şi **p** respectiv, după polarizare, iar $h\nu$ este energia benzii interzise.

3. Aspecte constructive ale laserilor cu solid.

3.1. Schema bloc a unui laser cu solid.

Figura 3 reprezintă schema bloc de funcţionare a unui laser cu solid.

Prin închiderea comutatorului K, bobina de inducţie generează un impuls de înaltă tensiune (10—15 kV) care iniţiază descărcarea în flash. Bateria de condensatori C se descarcă prin flash dînd naştere unui impuls

de energie luminoasă care excită mediul activ. Sursa de alimentare încarcă apoi bateria de condensatori C prin rezistența R, după care se poate da un nou impuls de descărcare.

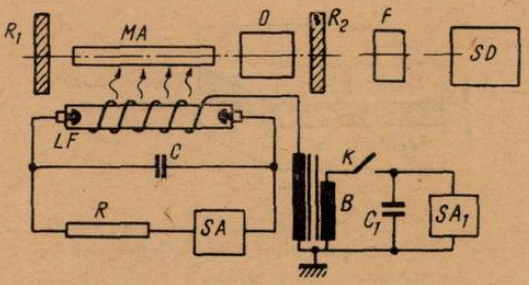


Fig. 3 — Schema bloc a unui laser cu solid dielectric. MA — mediu activ; R_1, R_2 — reflectori; O — obturator pentru funcționare în regim Q switch; F — filtru ce transmite frecvența laser; SD — sistem de detecție; LF — lampa flash; C — baterie de condensatori; R — rezistență de încărcare; SA — sursă de alimentare; B — bobină de inducție; C_1 — condensator; SA — sursă de alimentare;

3.2. *Mediul activ.*

În cazul laserilor cu corp solid dielectric, se prezintă sub formă de bare de diferite dimensiuni în funcție de puterea pe care trebuie să o debiteze laserul. Bastoanele sînt tăiate cu fețele plan-paralele, sferice, plan-prismă cu reflexie totală, unghi Brewster — unghi Brewster, etc.

S-au construit și laseri cu fibre optice din sticlă dopată cu Nd, sau cu mediul activ alcătuit dintr-un mănunchi de fibre optice. Pentru o mai mare eficiență prin evitarea pierderilor de radiație din fibra optică, ea este plasată într-un înveliș transparent cu un indice de refracție mai mic decît al fibrei optice, pentru reflexia totală a radiației în interiorul fibrei. Într-o astfel de configurație s-au realizat laseri cu fibre lungi de peste un metru și diametru de cîteva zeci de μm, introduse într-un înveliș cu un diametru de ordinul mm. Indicele de refracție al învelișului este cu cîteva procente mai mic decît al sticlei folosită ca mediu activ.

Necesitatea obținerii unor laseri cu solid de energii din ce în ce mai mari a dus la realizarea unei noi variante de laser cu solid — laserul cu discuri. Mediul activ este alcătuit din discuri printre care circulă un lichid de răcire. Discurile pot fi așezate perpendicular pe axa cavității laser (folosind un lichid de răcire cu indice de refracție adaptat sau acoperiri antireflexe ale discurilor) sau la unghi Brewster (rezultat din combinația sticlă — lichid, folosită). La aceste tipuri de laser s-a realizat o mărire a frecvenței de repetiție a impulsurilor furnizate, ajungîndu-se la 1 impuls/secundă, față de 1 impuls la cîteva zeci de secunde cum se lucrează în mod obișnuit cu laserii cu sticlă dopată cu Nd.

Dimensiunile mediilor active dielectrice variază de la lungimi de ~ 10 cm și diametre de ~ 5 mm, pînă la lungimi de 2 m și diametre de 10 cm. La laserii cu semiconductori cristalul are dimensiuni de ordinul mm și chiar mai mici. Zona activă la un laser cu joncțiune are o grosime de cîteva zeci de μm (fig. 4). Fețele plan paralele ale joncțiunii constituie reflectorii cavității rezonante. Cînd curentul injectat în jon-

cțiune depășește un anumit parg apare efectul laser. Pragul scade odată cu scăderea temperaturii de funcționare a diodei laser. Sub valoarea de

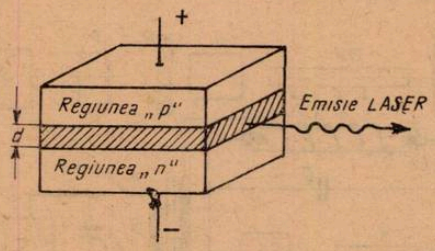


Fig. 4 — Structura unui laser cu joncțiune pn :
d — grosimea zonei active a diodei laser

prag a curentului se emite luminescență (emisie spontană). Există o întreagă categorie de diode luminescente (care nu sînt laseri) special construite pentru diferite aplicații.

3.3. *Cavități rezonante optice.*

Cavitățile rezonante optice se folosesc pentru laserii în regim de oscilator. Ele sînt analoagele cavităților de microunde, în domeniul optic de frecvență. Cavitățile de rezonanță au mai multe frecvențe proprii de oscilație numite moduri. Cîmpul electromagnetic din cavitate are o structură de moduri longitudinale (distanțate în frecvență cu $\Delta\nu = \frac{c}{2L}$, unde L — lungimea optică a cavității) și transversale (distanțate spațial și în frecvență).

Cîteva tipuri de cavități rezonante sînt prezentate în fig. 5. După forma elementelor reflectante R_1 și R_2 ele pot fi : plan-plan, plan-sferă, sferă-sferă, plan-prismă cu reflexie totală și alte combinații. Cavitatea rezonantă se poate realiza și prin depunerea oglinzilor reflectante direct

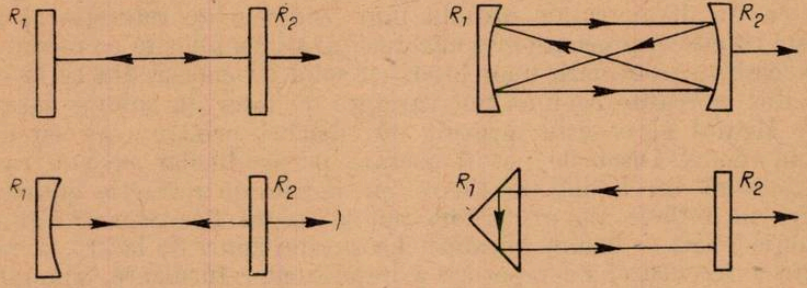


Fig. 5 — Tipuri de cavități rezonante.

pe capetele bastonului care constituie mediul activ. Valorile reflectivităților R_1 și R_2 se aleg în așa fel încît să se realizeze maximum de eficiență în funcționarea laserului, făcîndu-se un cuplaj optim între cavitatea rezonantă și exterior. Se pot realiza elemente reflectante cu reflectanță ajustabilă, pentru optimizarea intensității de ieșire a fasciculului.

3.4. *Capete de excitare.*

Capul de excitare are rolul de a realiza inversia de populaţie a mediului activ. Figura 6 prezintă diferite geometrii ale capetelor de excitare pentru laseri cu dielectrici. La realizarea lor se pune problema unui cuplaj cît mai eficient între sursa luminoasă de excitare (lampa flash) şi mediul activ. Capetele de excitare pot fi cu pereţi reflectanţi sau difuzanţi.

Fig. 6a şi 6b prezintă două capete de excitare cu secţiune eliptică şi dublu eliptică, cu pereţi reflectanţi, unde flashul şi mediul activ sînt plasaţi în axele focarelor elipselor.

Fig. 6c — cap de excitare cu difuzant cu secţiune circulară.

Fig. 6 (d, e, f) — capete de excitare cu cuplaj strîns în care flashul (sau flashurile) sînt foarte apropiate de bastonul laser pentru a se asigura un transfer de energie luminoasă cît mai mare.

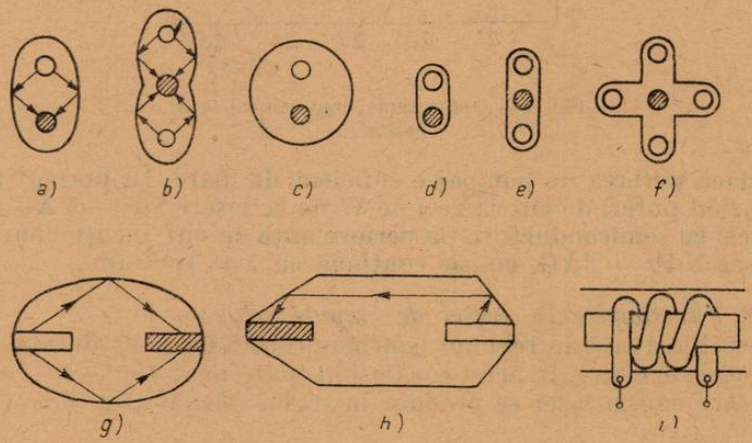


Fig. 6 — Tipuri de capete de excitare.

Fig. 6g — elipsoid de rotaţie cu pereţi reflectanţi, cu flashul şi mediul activ aşezat în vecinătatea focarelor.

Fig. 6h — cilindru terminat cu două conuri în care se află plasate mediul activ şi flashul.

Fig. 6i — cap de excitare cu flash spiral şi reflectant cilindric.

Prin răcire se realizează o creştere a randamentului laserului, o scădere a pragului de apariţie a efectului laser şi mărirea puterii disipate în flashuri la laserii cu funcţionare continuă.

În special la montajele strînse, la realizarea capetelor de excitare compacte, este necesară răcirea cavităţii şi în primul rînd a mediului activ. Răcirea se face în mod uzual cu aer, apă sau azot lichid (de exemplu pentru laserul cu Nd^{+3} —YAG cu funcţionare continuă).

4. Regimuri de funcţionare şi performanţe realizate.

Există patru regimuri de funcţionare, după durata emisiei laserului: funcţionare continuă, funcţionare în impuls relaxat, regim declanşat (Q switch) şi în regim de impulsuri ultrascurte.

4.1. *Funcționare în regim continuu.*

Funcționarea în acest regim s-a realizat la toate tipurile de laseri cu solid dielectric și la laserii cu semiconductori. Totuși cele mai bune performanțe în acest regim se obțin cu cristale YAG dopate cu Nd^{+3} sau $Nd^{+3} - Cr^{3+}$ și la laserii cu semiconductori (cum sînt diodele cu GaAs).

În figura 7 se prezintă semnalul obținut pe ecranul unui osciloscop de la un laser $Nd^{3+}-Cr^{3+}-YAG$. Peste semnalul continu se suprapune o succesiune de impulsuri cu o perioadă de 10—15 μsec, datorate unor oscilații de relaxare a inversiei de populație. Oscilațiile de relaxare pot

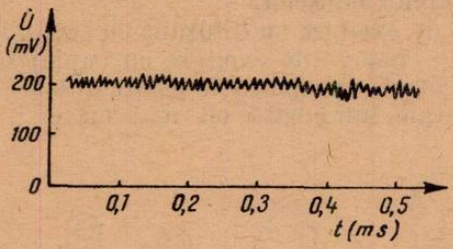


Fig. 7 — Oscilograma unui semnal laser continuu.

dispare dacă puterea de pompaj e suficient de mare. În prezent se obțin în mod uzual puteri de cîteva zeci de W de la laseri $Nd^{3+}-YAG$ și cîțiva W de la cei cu semiconductori. Ca performanțe de vîrf menționăm 1100 W la un laser $Nd^{3+}-YAG$, emisie continuă cu $\lambda = 1{,}06$ μm.

4.2. *Funcționare în regim de impuls relaxat.*

Deosebirea față de regimul continuu constă doar în durata funcționării sursei de excitare. În acest caz flashul emite doar $10^{-4}-10^{-2}$ secunde, timp în care emisia laser se produce în regim relaxat (fig. 8).

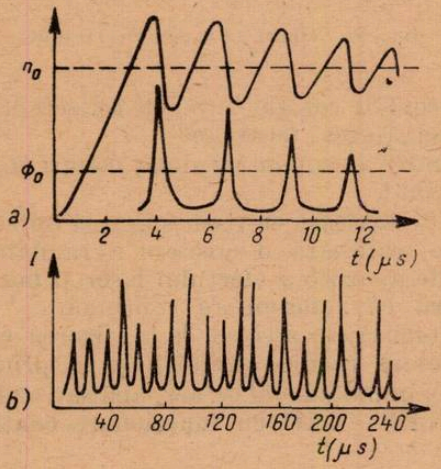


Fig. 8 — Emisia unui laser în regim de impuls relaxat.

Din studiul teoretic al ecuațiilor de evoluție a densității de fotoni și a inversiei de populație pe timpul pompajului optic, rezultă că ar trebui

să ia naştere o succesiune de impulsuri luminoase care scad în amplitudine după o lege exponenţială (fig. 8a). În realitate succesiunea de impulsuri care rezultă variază aleatoriu în amplitudine (fig. 8b). Aceste fluctuaţii se datorează densităţii de dopaj neuniformă în tot mediul activ, distribuţiei radiaţiei de pompaj care poate fi de asemenea neuniformă, încălzirii bastonului, încălzirii elementelor cavităţii, etc. Şi în acest caz, la un pompaj suficient de puternic, impulsurile de relaxare dispar, emisia fiind un impuls lung de 10^{-4}—10^{-2} secunde. Ca performanţe uzuale se obţin energii de 1—1000 J. Maximum de energie obţinută este 5000 J, în impuls relaxat de ~ 3 msec Prin optimizarea construcţiei s-a ajuns la un randament maxim de aproximativ 10% (faţă de 0,1—1% cît e obişnuit la laserii cu dielectrici). Laserii cu semiconductori cu joncţiune au randamentul foarte bun, depăşind uneori 90%.

4.3. *Funcţionarea în regim declanşat* (*Q switch*).

Prin realizarea acestui regim se obţin la ieşirea laserului impulsuri luminoase cu o durată de 10^{-7}—10^{-9} secunde.

Factorul de calitate al cavităţii rezonante (Q) caracterizează pierderile cavităţii pentru modul de oscilaţie considerat, prin analogie cu factorul de calitate al unui circuit oscilant LC. Este proporţional cu raportul între energia acumulată în cavitate şi pierderile în unitatea de timp.

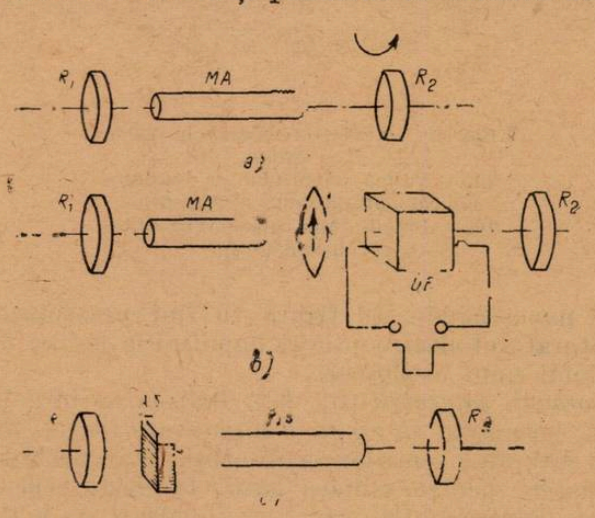


Fig. 9 — Scheme pentru realizarea regimului Q switch.
MA — mediu activ; R_1, R_2 — reflectori; P — polarizor;
OE — obturator electrooptic; AS — absorbant saturabil.

La începutul pompajului optic printr-o metodă oarecare se menţine factorul de calitate al cavităţii rezonante la o valoare scăzută, ceea ce împiedică apariţia efectului laser. În acest caz nivelul laser superior se depopulează numai prin emisie spontană (fluorescenţă). După ce o cantitate de energie suficient de mare a fost acumulată, Q este crescut brusc şi apare o emisie stimulată rapidă, luînd naştere un „impuls gigant". În acest fel s-au obţinut energii de 100 J şi puteri pînă la 10^9 W în impuls.

Principalele metode de obţinere ale Q switchului sînt:

a) *mecanice* (fig. 9a) cu prismă sau oglindă rotitoare. Viteza de rotaţie a oglinzii este de 10.000—90.000 ture/minut. Efectul de Q-switch

şi generarea de impuls gigant apar cînd oglinzile ajung în poziţie de paralelism. Rotaţia oglinzii este sincronizată cu aprinderea flashului aşa fel încît să se obţină putere maximă la ieşirea laserului.

b) *electrooptice sau acustooptice* (fig. 9b) folosind modulatoare cu efect Pockels sau Kerr sau modulatoare acustooptice. Impulsul negativ de înaltă tensiune aplicat celulei Pockels are o durată de cîteva sute de nanosecunde şi este întîrziat cu cîteva sute de microsecunde faţă de declanşarea flashului. Se obţine la ieşire un impuls laser cu o durată de

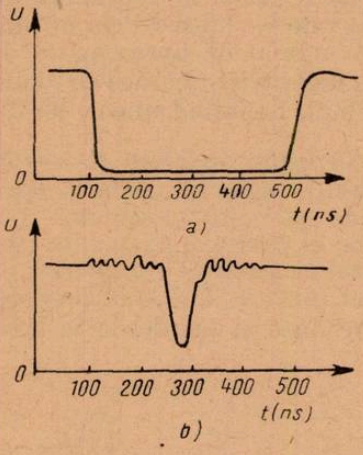


Fig. 10 — Evoluţii temporale în regim Q — switch.
10_a — Forma impulsului de tensiune aplicat obturatorului electrooptic.
10_b — Impuls laser gigant vizualizat pe un osciloscop.

cîteva zeci de nanosecunde. În figura 10 sînt prezentate impulsul de tensiune pe obturatorul electrooptic şi impulsul la ieşirea din laser, înregistrat pe ecranul unui osciloscop.

c) *cu absorbanţi saturabili* (fig. 9c). Transmisia iniţială a absorbantului este mică, permiţînd să apară o intensitate foarte mică a radiaţiei laser. Odată cu saturarea centrilor de absorbţie ai absorbantului, el devine complet transparent pentru radiaţii laser, Q creşte repede şi se emite impulsul gigant. Pentru obţinerea unor impulsuri de o durată cît mai scurtă se combină un Q switch mecanic (sau electrooptic) cu unul cu absorbant saturabil. Ca absorbanţi saturabili se folosesc anumite soluţii organice de coloranţi sau anumite filtre de sticlă speciale.

4.4. *Funcţionarea în regim de impulsuri ultrascurte.*

În acest regim de funcţionare, se obţin succesiuni periodice de impulsuri cu durate de 10^{-10}—10^{-13} s şi perioade de repetiţie de 10^{-8}—10^{-11} s. Impulsurile ultrascurte apar datorită cuplajului modurilor longitudinale ale cavităţii de rezonanţă optice. Pentru un laser cu regim relaxat sau Q switch, modurile longitudinale oscilează independent, cu faze aleatoare unul faţă de altul, suprapunerea lor în timp dînd o emisie complet neregulată la scara de timp de $10^{-10} - 10^{-13}$ s. Dacă se menţine o relaţie de fază bine determinată între aceste moduri, emisia

are o structură temporală bine determinată și periodică (în acest caz se spune că modurile sînt cuplate). În cazul cel mai favorabil, cînd fazele tuturor modurilor sînt egale, se obține un tren de impulsuri cu perioada de repetiție $T = \frac{1}{\Delta\nu} = \frac{2L}{c}$ (în care $\Delta\nu$ — diferența de frecvență între 2 moduri longitudinale vecine, L — lungimea optică a cavității), și cu durata unui impuls $\tau = \frac{T}{n} = \frac{1}{B}$ (în care n — numărul de moduri longitudinale care oscilează în fază, B — banda de frecvență a emisiei laserului) Se vede că pentru o durată cît mai mică a impulsurilor e necesar un laser cu o bandă cît mai largă (cu cît mai multe moduri longitudinale).

Metodele practice de obținere a impulsurilor ultrascurte sînt :

a) *Autocuplarea modurilor.* Aceasta se produce în anumite condiții datorită neliniarităților mediului activ sau cavității (amplificare sau pierderi neliniare), dar reproductibilitatea rezultatelor nu e prea bună.

b) *Modulare internă.* Aceasta se realizează cu un modulator introdus în cavitate, care modulează pierderile cavității sau faza oscilațiilor, cu o frecvență egală cu diferența de frecvență între două moduri vecine, $\frac{c}{2L}$. Apar astfel componente laterale, ce se suprapun peste modurile vecine, excitîndu-le în fază cu semnalul modulator, acestea dau din nou componente laterale, ș.a.m.d. pînă la excitarea în fază a tuturor modurilor laserului.

c) *Cuplare cu absorbanți neliniari.* Este metoda cea mai utilizată la laserii cu solid, pentru obținerea impulsurilor ultrascurte. În același timp se obține și un laser Q-switch, deci durata totală a trenului de impulsuri ultrascurte emis nu depășește $10^{-8} - 10^{-7}$ s. Cuplarea modurilor se realizează datorită absorbției neliniare a absorbantului.

Impulsurile ultrascurte emise pot fi controlate experimental. Astfel se poate varia perioada lor de repetiție, se poate izola un singur impuls dintr-un tren de impulsuri, se poate amplifica un singur impuls, se poate scurta durata lui.

Performanțele maxime obținute sînt puteri de peste 10^{13} W și durate de impuls de 10^{-13} s.

4.5. *Caracteristicile emisiei laserilor cu solid.*

Radiația laser emisă de laserii cu solid se bucură de proprietățile radiației laser în general: monocromaticitate, coerență, intensitate, direcționalitate.

Lărgimea benzii de emisie la laserii cu solid dielectric e cuprinsă între $0{,}1 - 10^2$ Å, divergența fascicolului laser fiind de ordinul $0{,}1° - 1°$. Pentru laserii cu semiconductori atît banda de frecvență emisă cît și divergența fasciculului sînt mai mari, ajungînd respectiv la sute de Å și zeci de grade.

În general proprietățile de monocromaticitate, coerență și direcționalitate ale laserilor cu solid sînt inferioare laserilor cu gaz, în schimb intensitatea și energia emisă sînt mult mai mari la laserii cu solid.

Cîteva lungimi de undă mai importante ale laserilor cu solid: 1,06 μm pentru laserul cu Nd^{3+} — sticlă și Nd^{3+} — YAG, 0,6943 μm pentru laserul cu rubin ($Cr^{3+} - Al_2O_3$), 0,85 μm pentru laserul cu diodă semiconductoare cu GaAs.

5. Direcţii de cercetare

Cercetările sînt îndreptate în direcţia realizării unor performanţe de funcţionare cît mai ridicate, prin obţinerea de noi medii active, prin optimizarea geometriilor de excitare şi în general a tuturor componentelor laserilor.

Datorită densităţii foarte mari de energie obţinută la laserii cu solid, are loc o distrugere a mediului activ. Cauzele principale care duc la distrugeri în mediu activ sînt : neomogenităţile microscopice din mediul activ, care servesc ca centru de absorbţie pentru radiaţie, neregularităţile de suprafaţă şi autofocalizarea fasciculului laser, ce provoacă densităţi mari de radiaţie în interiorul mediului activ.

Încălzirea neuniformă a mediului activ (mai mare la centrul bastonului şi mai mică spre exterior) poate duce la o variaţie a indicelui de refracţie (care depinde de temperatură) şi la apariţia fenomenului de autofocalizare. Din punct de vedere termic cristalele sînt mai avantajoase decît sticla, deoarece au o conductibilitate termică superioară. Pentru a asigura o răcire mai bună a mediului activ din sticlă s-au construit laserii cu discuri.

6. Aplicaţiile laserilor cu corp solid.

a) *Aplicaţii în industrie*

Principalele aplicaţii industriale ale laserului cu corp solid se bazează pe interacţia radiaţiei laser cu substanţa şi pe puterea mare în impuls a fasciculului laser. Datorită acestui fenomen se pot realiza diverse aplicaţii ca : microsuduri ; prelucrări prin îndepărtarea materialului (găuriri, curăţiri, evaporări) ; debitări de materiale (tăieri, fracturări controlate) ; diferite modificări structurale induse termic (oxidări superficiale, topire zonală, reacţii fotochimice).

Suduri. Rubinul şi sticla dopată cu Nd sînt principalele materiale active utilizate în laserii pentru suduri. Faţă de rubin, sticla dopată cu Nd prezintă avantajul unui prag laser mai scăzut, însă este mai puţin rezistentă la energii mari. Pentru sudură durata impulsului laser trebuie să fie suficient de mare pentru a permite absorbţia energiei de către material, transferul de căldură, amestecul componenţilor în stare topită, urmat de solidificare. Dispozitivele comerciale existente folosesc impulsuri de durată pînă la 10 msec. Viteza de sudare este limitată de durata de repetiţie a impulsurilor emise de laser. O frecvenţă de 1 impuls/sec. la o energie de 10 J pe impuls este curent folosită în dispozitivele industriale.

Principala aplicaţie a sudurilor cu laser este microsudura dispozitivelor semiconductoare. Datorită timpului de încălzire foarte scurt, local se realizează suduri pe materiale sensibile la temperaturi ridicate.

Laserii realizează sudura în zone inaccesibile altor tehnici, datorită dimensiunilor fizice mari ale sculelor folosite în procedeele clasice. Sudura poate avea loc într-o incintă închisă dacă există o cale de acces transparentă pentru radiaţia laser.

Prelucrări prin îndepărtarea materialului. Una dintre cele mai cunoscute aplicaţii în această categorie este microgăurirea materialelor.

Principalele avantaje ale metodei sînt :

Operaţia se face fără contact fizic între material şi sculă ; precizia este realizată de dispozitivul optic de aliniere, care se poate face cu mare fineţe ; se pot realiza rapoarte, între adîncimea şi diametrul găurii, foarte mari datorită caracteristicilor fasciculului laser.

Pentru această operație se folosesc impulsuri de durată 300—700 μsec. Se pot realiza filiere de diamant cu diametre submilimetrice, găurirea materialelor dure ceramice, perforări de găuri cu diametre submilimetrice pe adîncimi de material relativ mari.

Parcursul de pătrundere a fasciculului laser depinde de absorbția pe pereții orificiului, care crește odată cu adîncimea.

O altă aplicație importantă este vaporizarea materialelor, utilă în realizarea fotomăștilor, depuneri de pături subțiri, realizarea căilor conductoare în circuitele integrate.

Debitări de materiale. În această categorie aplicațiile laserilor cu solid se limitează la tăierea firelor din metale greu fuzibile și la controlul fracturării unor materiale cum ar fi diverse tipuri de sticlă și cristale (monocristal de cuarț, rubin, diamant).

Reacții chimice. Sînt inițiate datorită transferului termic local foarte intens. Asemenea reacții pot fi ionizări, modificări fotocromatice, descompuneri ale gazelor, reacții de fotoliză controlată cu fascicul laser, etc.

b) *Comunicații optice.*

Comunicațiile optice cu laseri au luat o dezvoltare importantă în ultimii ani. Ele oferă ca avantaje benzi de transmisie foarte largi, asigură secretul comunicațiilor militare, realizarea unor linii de comunicație în interiorul complexelor industriale, nu necesită instalații mari pentru emisie și recepție, comparativ cu antenele folosite în comunicațiile radio. O condiție necesară este ca laserul să funcționeze continuu. Se folosesc laserii cu YAG—Nd cu proprietăți spectrale foarte bune pentru comunicații (monocromaticitate) și laserii cu semiconductori, care au avantajul unei modulații facile.

Se folosesc sisteme de modulație în amplitudine, în frecvență, în fază sau în impulsuri (prin codificarea poziției impulsurilor).

S-au realizat sisteme de comunicație emițător-receptor portabile, de șantier, utilizînd laseri cu semiconductori. Se prevăd perspective deosebite în comunicațiile spațiale.

c) *Telemetrie și radar optic.* Este una din aplicațiile principale ale laserului de putere medie funcționînd în regim de Q-switch.

Principiul telemetrului cu laser este același ca al radarului clasic. Se măsoară durata de timp între impulsul laser emis și cel recepționat în urma reflexiei pe obiectul de măsurat. Distanța e proporțională cu acest interval de timp.

Performanțele pe care le poate atinge un telemetru cu laser sînt date de : precizia în azimut, care depinde de unghiul de deschidere al fasciculului laser ; precizia în distanță, legată de timpul de creștere al impulsului laser ; distanța maximă măsurabilă, care depinde de puterea de emisie, de coeficientul de reflexie al țintei, de absorbția atmosferică și de sensibilitatea receptorului.

Distanța de măsurat este limitată de puterea minimă decelabilă la fotodetectorul de recepție ; semnalul recepționat trebuie să fie suficient de mare pentru a putea fi selectat din zgomotul fotodetectorului. Dacă condițiile atmosferice sînt nefavorabile (brumă, ceață, ploaie) absorbția crește și distanța maximă se reduce considerabil.

Dacă frecvența de repetiție a impulsului laser e suficient de mare (1 Hz—10 kHz) se poate construi un radar optic, care are în plus față de telemetru posibilitatea de urmărire continuă a obiectelor în mișcare.

S-au construit telemetre și sisteme radar optic și pentru locație submarină sau în spațiul cosmic.

Întrebuinţînd un laser cu discuri, cu o frecvenţă de repetiţie de 1 impuls/sec. şi cu o durată a impulsului de 1 nsec (care este la limita detecţiei electronice directe), s-a atins o precizie de cîţiva centimetri în măsurarea distanţei Pămînt-Lună. Reflectorul laser plasat pe Lună de nava Apollo 11 era alcătuit dintr-un mozaic de prisme triedrale care au proprietatea de a reflecta pe aceeaşi direcţie cu cea a radiaţiei incidente.

d) *Fotografie şi Holografie rapidă*

Intensitatea mare a fasciculului combinată cu durata scurtă sau ultrascurtă a impulsurilor, permite fotografierea şi holografierea obiectelor în mişcare. S-au realizat rezoluţii temporale de $10^{-9} - 10^{12}$ s, ceea ce a permis fotografierea sau holografierea proiectilelor în mişcare,a proceselor de detonaţie şi chiar a propagării unui front de undă luminoasă.

e) *Cercetări în domeniul plasmei.*

Realizarea laserilor de mare putere a deschis noi posibilităţi de cercetare în domeniul plasmei.

Reacţii nucleare de fuziune generate de un fascicul laser au fost puse pentru prima oară în evidenţă în URSS, SUA şi Franţa. S-au detectat neutroni care demonstrează existenţa reacţiei de fuzionare nucleară :

$$^{2}_{1}D + ^{2}_{1}D \rightarrow ^{3}_{2}He + ^{0}_{1}n + 3{,}27 \text{ MeV}$$

La Institutul Lebedeev din Moscova s-a folosit un laser cu sticlă dopată cu Nd de energie 15—20 J şi durata impulsului de cca. 15.10^{-12} secunde (putere în impuls de ordinul 10^{12} W), iar ca ţintă deuterură de litiu (Li D).

Pentru experienţele făcute în Franţa la Compania CGE s-a folosit un laser cu o energie de 30—50 J şi durata impulsului de cîteva nanosecunde, care dezvoltă o putere de (4—6) 10^{9} W în impuls. Acţionînd asupra unei ţinte din deuteriu solid se realizează o plasmă cu o temperatură foarte ridicată. Adaptînd forma impulsului laser la hidrodinamica plasmei create, s-a putut atinge o mare absorbţie de energie, astfel încît plasma devine locul unei reacţii nucleare caracterizată de o emisie neutronică. Neutronii obţinuţi în cursul interacţiei aveau energia de 2,45 Mev, care este cea aşteptată cînd reacţia nucleară amintită mai sus are loc.

f) *Medicină.*

Atît laserul cu rubin cît şi cel cu sticlă dopată cu Nd au aplicaţii şi în medicină. Laserul cu rubin se foloseşte în intervenţii chirurgicale pe retină, la sudura retinei de pereţii săi sau distrugerea unor tumori apărute pe retină. Se fac experienţe şi pentru utilizarea laserilor în neurochirurgie.

De asemenea, laserul cu solid cu funcţionare în impuls se foloseşte în tratarea unor anumite tumori canceroase şi în stomatologie.

Datorită flexibilităţii şi dimensiunilor lor foarte mici, laserii cu fibră de sticlă dopată cu Nd sînt folosiţi în tratarea diferitelor afecţiuni interne, ei putînd fi introduşi în locuri greu accesibile în organism.

Datorită aplicaţiilor precum şi a perspectivelor deosebite ale laserilor cu corp solid, aceştia constituie în prezent un domeniu de cercetare intensă în multe laboratoare din întreaga lume. Performanţele lor au deschis căi noi de cercetare în multe domenii ale fizicii, ca fizica plasmei, optica neliniară, fenomene ultrarapide.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

DIN VIAȚA SOCIETĂȚII

În zilele de 3 și 4 sept. a. c. a avut loc la Galați consfătuirea cu tema: "Metode și mijloace moderne în predarea fizicii și chimiei", organizată în contextul acțiunilor Societății de Științe Fizice și Chimice menite să contribuie la modernizarea învățământului fizicii și chimiei. Din dezbaterile consfătuirii s-a constatat cu satisfacție că există cadre didactice entuziaste în întreaga țară, receptive la nou, capabile și dornice să aplice în viață directivele majore trasate în cursul lunii iulie de tovarășul Nicolae Ceaușescu secretar general al Partidului Comunist Român, în legătură cu activitatea politică și cultural educativă și legarea învățământului de practică, de producție.

În zilele de 25 și 26 sept. a. c., Societatea de Științe Fizice și Chimice a organizat la Pitești simpozionul cu tema „Fizica și Chimia catalizatorilor." Referatele și comunicările prezentate au abordat un număr mare de probleme legate de prepararea, exploatarea și testarea catalizatorilor precum și de aspectele științifice ale catalizei eterogene. În cadrul simpozionului s-a realizat informarea cadrelor didactice din învățământul mediu asupra problemelor complexe ale produselor catalitice și asupra importanței lor pentru dezvoltarea industriei noastre chimice.

CĂTRE COLABORATORII NOȘTRI,

Articolele, notele și orice materiale destinate publicării în Revista de Fizică și Chimie seria A trebuie să fie redactate clar și concis (maximum 10 pagini dactilografiate la două rînduri) în două exemplare, însoțite de figuri desenate separat de text, cît mai sugestive, de preferință în tuș pe calc. Fotografiile trebuiesc executate în contrast puternic alb-negru. Figurile și fotografiile trebuiesc trimise de asemenea în două exemplare.

Articolele trebuiesc semnate (dactilografiat) imediat sub titlu, împreună cu titlul didactic și localitatea autorului.

Pe ultima pagină, pe ambele exemplare, trebuie scrisă complet adresa autorului.

În același plic cu materialul, colaboratorii noștri sînt rugați să introducă și o carte poștală cu adresa proprie (la destinatar) pentru a ne ajuta în promptitudinea răspunsului.

Materialele ne publicate nu se restituie autorilor.

Pe adresa redacției primim propunerile și sugestiile Dvs. cu privire la tematica Revistei, note critice asupra articolelor publicate pînă acum.

Dorim ca Revista de Fizică și Chimie să vă fie de un real folos în activitatea Dvs.

Începînd cu nr.1/1972, în R.F.C. seria A vor apărea articole destinate claselor speciale de Fizică și chimie.

Pentru a veni în sprijinul cititorilor care doresc să-și procure numere mai vechi din RFC, anunțăm că se mențin în vînzare, un an de la apariție, cîteva exemplare din fiecare număr, la magazinele de anticariat ale Direcției de Expediere a Presei. Dăm adresa lor :

București : Bd. Magheru nr. 18 sector I; **Cluj** : Str. Dr. Petru Groza nr. 32; **Iași** : Piața Unirii nr. 7; **Timișoara** : Str. 9 Mai nr. 3

Pentru a vă asigura cu regularitate primirea revistei, și a avea completă colecția, abonați-vă pe o perioadă mai îndelungată.

Costul unui abonament anual : lei 36.

Costul unui abonament pe 6 luni : lei 18.

Comitetul de Redacție

I. P. Informația—c. 2757

Index 43 459

Lei 3

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

SOCIETATEA DE ȘTIINȚE FIZICE ȘI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista
DE
FIZICĂ ȘI CHIMIE

SERIA A
VOLUMUL VIII

11

NOIEMBRIE 1971

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE

STR. NUFERILOR 23, SECTORUL 7 BUCUREȘTI – 46, TELEFON 16,42 86

SUMAR

Pag.

E. Pincovschi, I. Constantinescu, București

1. Depoluarea simultană a apei și atmosferei prin metode combinate — mijloc de a proteja biosfera 401

Stud. *Ștefania Enescu, Lelian Cioroianu*, București

2. Studiul comparativ al metodelor de separare a cationilor. 406

Prof. *Peter L. Hirsch*, Arad

3. Studiu calitativ asupra luminozității și apodizării unui sistem optic în cazul iluminării coerente și parțial coerente 414

Stud. *Marin Niculae*, București

4. Efectul Doppler 419

Dr. ing. *Stoian Petrescu*, București

5. Deducerea elementară a formulelor de transformare Lorentz-Einstein 424

Prof. *Iosif Alex. Mathe*, Șimleul Silvaniei

6. Cîmpuri de forță (lecție de sinteză pentru anul IV liceu) 431

Prof. *Mihai Mezinu*, Cîmpulung Moldovenesc

7. Observații asupra predării particulelor elementare la anul IV liceu 438

COMITETUL DE REDACȚIE

Constantin D. Albu, conf. univ.; **Teodor Bohățiel, lector. univ.**; **Simion Bulgărea**, prof. **Maria Codreanu**, prof.; **Andra Körner**, redactor; **Nicole Martalogu**, conf. univ. **Eleonora Mihul**, cercetător; **Ion C. Moisil**, conf. univ.; **Alice Negoescu**, prof.; **Ion C. Petrea**, conf. univ.; **Victor Sahini**, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România); **Elena Teodoru**, prof. redactor șef

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

Seria A

Anul VIII Nr. 11 noiembrie 1971

DEPOLUAREA SIMULTANĂ A APEI ŞI ATMOSFEREI PRIN METODE COMBINATE—MIJLOC DE A PROTEJA BIOSFERA.

Dr. *E. PINCOVSCHI*, Dr. *I. CONSTANTINESCU*, I.P. Bucureşti

Rapida creştere a populaţiei centrelor urbane şi dezvoltarea impetuoasă a industriilor, ridică o serie de probleme majore privind asigurarea resurselor de apă şi protecţia atmosferei.

Dacă cu cîţiva ani în urmă, în centrele populate se consumau zilnic cca. 125 l H_2O pe cap de locuitor, în prezent se consumă pînă la 400 l H_2O pe zi [1]. De asemenea, în multe ramuri industriale în care apa este materie primă tehnologică, prin mărirea producţiei, a crescut şi consumul de apă. Astfel, pentru producerea unei tone de zahăr sînt necesari 100 m^3 apă, pentru producerea unei tone de oţel 150 m^3 apă, pentru producerea unei tone de hîrtie 250 m^3 apă, pentru producerea unei tone de aluminiu 1200 m^3 apă, iar pentru producerea drojdiei de bere se consumă de 600 ori mai multă apă decît cîntăreşte produsul respectiv [2, 3].

Creşterea consumului de apă într-un asemenea ritm, indică evident un grad mereu sporit de industrializare, dar în acelaşi timp constituie un factor de nelinişte în ceea ce priveşte posibilităţile de asigurare pentru viitor cu necesarul de apă.

Se apreciază că rezerva de apă dulce utilizabilă, este de cca. 50.000 km^3, din care omenirea poate dispune numai de 20.000 km^3, aceasta pentru a nu recurge la secarea apelor curgătoare, a lacurilor şi fără a epuiza pînza freatică [4].

Dacă cei 35 mil. km^3 de apă dulce imobilizaţi în gheţari şi 1,3 miliarde km^3 din apa mărilor şi oceanelor ar fi utilizabili, bineînţeles că problema surselor de apă nu ar mai constitui un factor de îngrijorare. Dar tocmai pentru faptul că aceste surse de apă încă nu pot fi utilizate, se pune cu preganantă problema regenerării apelor uzate, care să poată fi returnate după folosire. (Apa uzată returnabilă reprezintă peste 75% din apa trimeasă la consum) [5].

Problema apei nu rămîne însă izolată ea trebuind corelată cu aceea a poluării atmosferei [6].

Nu rare sînt cazurile, îndeosebi în centrele aglomerate (numărul acestora fiind într-o permanentă creştere pe suprafaţa globului), cînd aerul din mediul ambiant nu mai poate fi acceptat de organismul uman.

Agenţii cei mai des întîlniţi care poluează atmosfera sînt: bioxidul de sulf, oxidul de carbon, oxizii de azot, hidrocarburile, fumurile, pulberile, etc.

Urmărind sursele care produc impurificarea (tabela 1), constatăm că instalaţiile industriale, generatorii de forţă şi autovehiculele sînt principalii factori care contribuie la aceasta [7].

Tabela 1

Principalele surse de poluare a atmosferei [7]

	Auto-vehicule	Industrie	Generatori de forță	Deșeuri	Total
	mil. tone an	mil. tone an	mil. tone an	mil. tone an	mil. tone an
SO_2	1	9	12	—	22
CO	66	2	3	1	72
Oxizi de azot	6	3	3	—	12
Hidrocarburi	12	5	—	1	18
Pulberi și fumuri	1	16	3	1	21

Cu creșterea gradului de civilizație, pericolul mediului ambiant poluat (aer, apă) pentru organismul uman devine pe zi ce trece mai accentuat. Sînt tot mai rare cazurile cînd nocivitatea mediului se referă izolat, numai la unul din cei doi factori : apă sau aer.

Dacă pînă în ultimii ani rezolvarea uneia sau alteia din probleme (depoluarea apei sau depoluarea atmosferei) se făcea izolat, în multe cazuri rezolvarea uneia făcîndu-se în detrimentul celeilalte, în etapa actuală numai eforturile conjugate pot da rezultate satisfăcătoare.

Există păreri că s-ar putea găsi metode universal valabile pentru purificarea apelor și aerului. Ce va aduce viitorul rămîne de văzut, cert este însă că nu se pot da rețete cu aplicativitate generală. În acest sens stabilirea cît mai exactă a constituenților mediului poluant, ușurează găsirea metodei celei mai adecvate de depoluare.

În prezenta lucrare, pe baza unor date experimentale, autorii caută să exemplifice faptul că combaterea impurificării apei și atmosferei nu se mai poate concepe a fi realizată separat și că există suficiente resurse pentru a conjuga actualele procedee, sau eventual de a elabora altele noi.

O primă exemplificare se referă la poluarea mediului de către acidul clorhidric rezidual.

Din unele procese industriale sînt eliminate cantități însemnate de acid clorhidric în diverse concentrații [8]. În cazul în care concentrația acidului degajat este mică, aplicarea vreunei metode de recuperare nu se justifică economic. Totuși cantitățile evacuate în atmosferă pot fi adesea suficiente pentru a genera un miros puternic în zona de emisie. De asemenea, în această zonă se pot ivi și probleme de coroziune.

Rezolvările actuale prevăd trecerea gazului printr-un scruber cu umplutură, stropit cu apă [9]. Gazul evacuat în atmosferă este de această dată curat, el nemaiconstituind o sursă de impurificare a atmosferei dar, soluția evacuată din scruber, adesea inutilizabilă datorită impurităților conținute sau unei concentrații prea mici în acid clorhidric, este evacuată în sistemul de canalizare și ajunge în efluent. Efectul asupra sistemului de canalizare și apoi asupra efluentului în care acesta se varsă, dacă la început nu este resimțit, cu timpul devine distrugător. Conductele sînt atacate,

iar procesele de autoepurare ale efluentului sînt simțitor diminuate, accentuînd în timp poluarea acestuia pe distanțe mereu crescînde [10].

Pentru o rezolvare cît mai completă a problemei s-au făcut încercări în sensul trecerii soluției în care s-a reținut acidul clorhidric gazos printr-un scruber umplut cu calcar. Deversarea apei, trecută prin acest scruber, în efluent se face după o verificare prealabilă a pH-ului și o eventuală corectare a acestuia, dacă mai este necesar, cu hidroxid de calciu. Pentru mărirea vitezei de neutralizare scruberul poate fi prevăzut cu un sistem de barbotare cu aer. Pentru a preîntîmpina formarea spumei se pot folosi pulverizatoare de apă (Fig. 1).

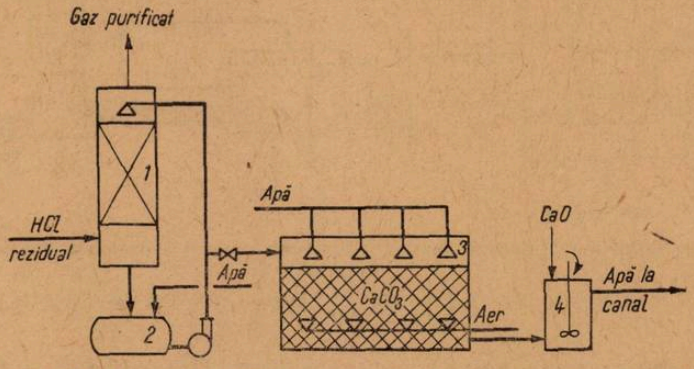


Fig. 1. Schema tehnologică pentru depoluarea atmosferei și apei de acid clorhidric rezidual.
1. coloană de absorbție; 2. rezervor; 3. filtru; 4. vas de amestecare

În acest mod posibilitatea de impurificare atît a atmosferei cît și a apei este mult diminuată, acidul clorhidric rezidual, nemaiputînd constitui un pericol pentru biosferă.

Un alt exemplu, în care însă procesul de depoluare se face pentru apă, în dauna atmosferei, se referă la industria celulozei [11, 12].

Într-una din fazele procesului tehnologic se evacuează din fierbător, leșie care conține polizaharide, lignosulfonați, acid acetic, derivați ai sulfului, etc. [13]. Întrucît concentrația substanțelor evacuate în efluent este mult mai mare decît cea admisibilă conform normelor sanitare în vigoare, este prevăzută o instalație de depoluare a apei. Leșiile epuizate sînt supuse evaporării, după care leșia concentrată este introdusă într-un cazan generator de abur, împreună cu cărbuni, în care se face arderea acestora [14].

În acest mod apele evacuate în efluent nu mai prezintă nici un pericol de poluare.

Inconvenientul care apare însă în acest proces de depoluare a apei, se datorește faptului că odată cu gazele de ardere, se evacuează compuși ai sulfului, proveniți atît de la cărbuni cît și din leșia concentrată, fapt care provoacă o sensibilă impurificare a atmosferei din jur.

Pentru rezolvarea completă a problemei în sensul depoluării și a atmosferei, instalația trebuie completată cu utilaje de reținere a gazelor sulfuroase. Astfel s-a realizat trecerea acestor gaze printr-o coloană umplută cu un material adsorbant. Rezultatele cele mai concludente le-au dat sitele moleculare, care permit reținerea gazelor sulfuroase, chiar la temperatura la care ele sînt evacuate din generator [15]. Se pot folosi evident și alți adsorbanți solizi [16—19].

Şi în acest caz s-a putut deci realiza, într-un mod relativ simplu, depoluarea atît a apei cît şi a atmosferei (fig. 2).

Un alt exemplu îl constituie poluarea apei şi atmosferei de către uzinele de prepararea cărbunilor. Actualele instalaţii de depoluare a apei sînt constituite din bazine de sedimentare, în care se depune sterilul de cărbune [20—22]. Fiind vorba de cantităţi mari, depozitarea nămolurilor

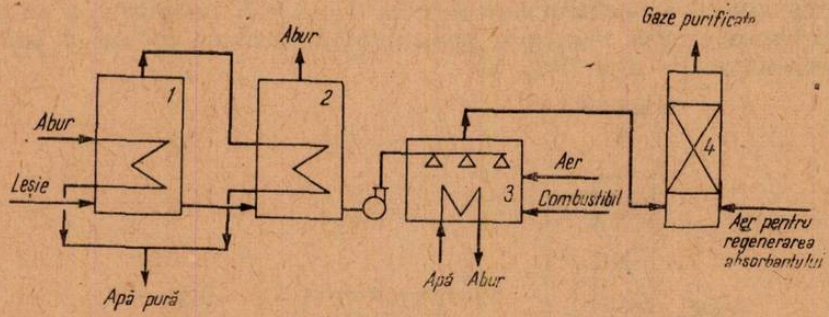


Fig. 2. Schema tehnologică pentru depoluarea apei şi atmosferei din industria celulozei.

1, 2. evaporator; 3. generator de abur; 4. coloană de adsorbţie.

de steril reţinute în bazine se face în aer liber. Datorită influenţei mediului înconjurător au loc procese de descompunere a substanţelor organice (în special a acizilor humici) din nămoluri, descompunere care conduce la formarea unor substanţe volatile, poluante ale atmosferei. Datorită acestui inconvenient s-a renunţat pentru moment la purificarea apei, lăsînd sterilul să polueze efluentul, pe zeci de kilometri.

Soluţia propusă în acest caz, se referă la revenirea la vechiul procedeu de tratare a apei, procedeu care este eficient. Materialul obţinut din bazinele de sedimentare şi decantare însă, în loc să fie depozitat, este folosit ca materie primă pentru obţinerea unor îngrăşăminte complexe. Se tratează sterilul cu soluţii amoniacale şi se obţin îngrăşăminte carbo-amoniacale cu un conţinut ridicat de humaţi de amoniu. În acest caz nu numai că s-a realizat depoluarea apei şi atmosferei, dar s-a şi putut valorifica unul dintre rezidii.

Un ultim exemplu îl constituie poluarea apei şi atmosferei de către fabricile de ciment. Cu toate măsurile de precauţie luate, atît atmosfera cît şi apele din împrejurimi sînt impurificate cu praf de ciment [23].

Pentru depoluarea combinată a aerului şi apei se preconizează realizarea unei instalaţii în care mai întîi să se facă desprăfuirea totală a gazelor evacuate în atmosferă, prin completarea actualelor instalaţii de cicloane şi filtre cu scrubere spălătoare, şi după aceasta, purificarea agentului de spălare, odată cu apele din împrejurimi, prin trecerea lor printr-un bazin de deznisipare şi decantare, cînd sînt reţinute particulele de ciment din apă (Fig. 3).

O asemenea metodă, în care se menţin vechile procedee, completate cu cerinţele noi, va soluţiona, considerăm, în mare măsură problema protecţiei mediului în industria cimentului.

Se pot prezenta, evident, şi alte procese pentru exemplificarea rezolvării concomitente a depoluării apei şi atmosferei.

Din toate studiile abordate, rezultă că, principial, aceste procedee sînt relativ simple, singurele implicații fiind legate de investițiile destul de mari.

Din exemplele expuse, precum și din alte procese studiate, se desprinde ideea primordială că în etapa actuală, fără o rezolvare comună a celor două probleme, lupta împotriva poluării mediului înconjurător devine pe zi ce trece mai grea.

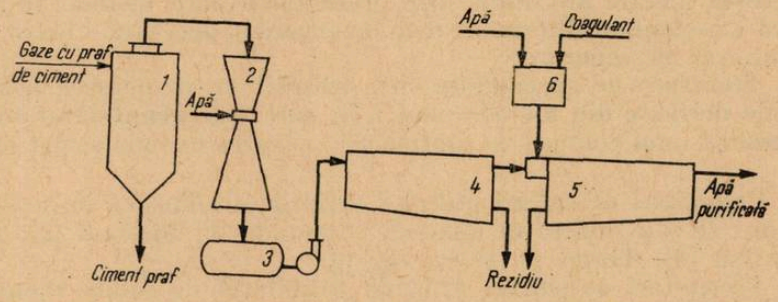


Fig. 3. Schema tehnologică pentru depoluarea apei și atmosferei din industria cimentului.

1. ciclon; 2. tub Venturi; 3. rezervor; 4, 5. decantor; 6. vas pentru prepararea soluției de coagulant.

Punînd la punct, în primul rînd, metodele de detecție și analiză, cunoscînd în al doilea rînd tehnologia de fabricație se pot, în majoritatea cazurilor, găsi soluții pentru protejarea mediului.

O singură cerință majoră rămîne în fața cercetătorilor, aceea de a se conjuga eforturile celor care lucrează în domeniul medical, al apelor, al atmosferei și tehnologic, într-o forță comună, îndreptată spre protecția totală a mediului care ne înconjoară și implicit a biosferei.

BIBLIOGRAFIE

1. *Hélie R.* Technique du pétrole, nr. 228, p. 31, 1965.
2. *Meinck F.* — Industrie Abwässer, p. 15, Gustav Fischer Verlag Stuttgart, 1968.
3. *Sierp Fr.* — Gewerbliche und industrielle Abwässer, p. 9, Spinger, Verlag, Berlin, 1967.
4. *Sontheimer H.* — Das Gas und Wasserfach 107, nr. 40—41, p. 3764, 1966.
5. *Colas R.* — Réutilisation des eaux résiduaires et industrielles, A.I.D.E., nr. 6, p. 22, 1964.
6. *Phelps H. A.* — Chem Eng. Progr. 62, nr. 10, p. 371, 1966.
7. *Hardison L. C.* — Air Pollution Control, 29, nr. 6, p. 379, 1970.
8. *Mayor Y.* — Chem. Rundschan, nr. 24, p. 198, 1964.
9. *Heuglein F. A.* — Grundriss der Chemischen Technik, p. 82, Aufl. Verlag Chemie Weinheim, 1963.
10. *Heinecke G.* — Neuere verfahrentechnische Gesichtpuntkte bei der Aufberitung von Abwässer und Abfallstoffen unter besonderer Berücksichtigung der Abwässer der chemischen Industrie, DECHEMA Monographien p. 52, 1964.
11. *Bogatiev O.* — Sh. V. Scoli Him. Tehn. Vodi, 8. p. 53, 1965.
12. *Haas L.* — Pulp and Paper International 7, nr. 2, p. 41, 1965.
13. *Sokolova O. I.* — Bumaj. prom. nr. 1, p. 15, 1965.
14. *Lüthgens M. W.* — The New Sivola Lurgi N.S.S.C Recovery Plant, Tappi 45, p. 837, 1962.
15. *Cole R.* — Shulman H. L. Ind. Eng. Chem. 52, nr. 10, p. 859, 1960.
16. * * * Lo zolfo, nr. 61/62, p. 17, 1967.
17. *Katel S.* — Chem. Eng. Progr. 62, nr. 10, p. 67, 1966.
18. *Ludvig J. H.* — Spaite P. W., Chem. Eng. Progr. 63, nr. 6, p. 81, 1967.
19. *Jüngten H.* — Chem. Ing. Techn. 38, nr. 7, p. 734, 1966.
20. *Balkels I.* Re-use of water in industry, a contribution to the solution of effluent problems. Butterworth London, 1, p. 171, 1963.
21. *Burton I.* — Annales des Mines de Belgique, nr. 6, 1956.
22. *Edeline F.* — Buletin de C.E.B.E.D.E.A.U. 50, nr. 4, p. 83, 1960.
23. *Netzel G.* — Tonindustrie-Ztg. und Keramische Rundschau, nr. 9/10, p. 81, 1952.

STUDIUL COMPARATIV AL METODELOR DE SEPARARE A CATIONILOR.

Studenți *ȘTEFANIA ENESCU* și *LELIAN CIOROIANU* I.P.B. București
Conducător științific : șef de lucrări Dr. Ing. *CORNELIA BEJAN*

Această lucrare are drept scop prezentarea unor metode de analiză calitativă a cationilor, diferite de metoda clasică și deci fără a folosi hidrogenul sulfurat la separare.

În literatura de specialitate sînt deosebit de numeroase indicațiile de metode derivate din metoda clasică în care hidrogenul sulfurat rezultă prin hidroliza unui compus ce conține S^{2-}. Aceste metode se pot clasifica astfel :

1) Precipitări de sulfuri utilizînd sulfurile alcaline, ca în metoda lui Vortmann (1) sau sulfură de amoniu — metoda lui Bischoff (2), Eyster (3), Rawitsh (4), Trapp (5) și Carnog (6).

2) Precipitări de sulfuri utilizînd tiosulfatul de sodiu- metoda lui Frähde (7), Orlowski (8) și Vortmann (9).

3) Precipitări de sulfuri cu pentasulfură de fosfor PS_5 — metoda Purgotti (13).

4) Precipitări de sulfuri cu sărurile de amoniu ale acidului tiocarbonic H_2CS_3 sau H_2CS_2O — metoda Hager (10) și Vogtherr (11) sau tioformamidei HCS_2NH_2 — metoda Klein (12).

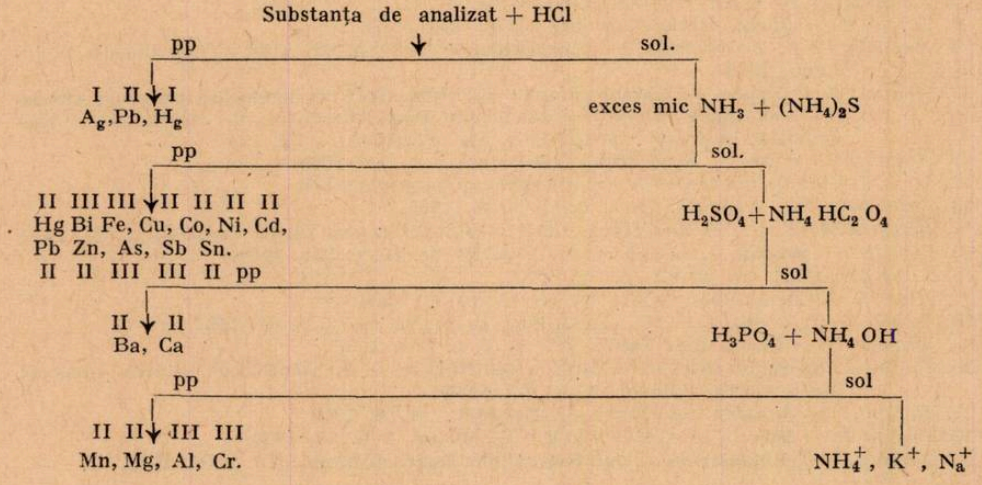
5) Precipitări de sulfuri cu tioacetamidă — metoda Wawilov (14) sau tioacetat de amoniu $CH_3COS(NH_4)$ — metoda Schiff și Tarugi (15).

6) Precipitări de sulfuri cu alte substanțe organice ce dau la hidroliză hidrogen sulfurat — metdoda lui Komarowsky și Goremykin (16).

Toate aceste metode de analiză nu au fost experimentale, bazîndu-se final tot pe separarea clasică a cationilor precipitați într-un mare număr ca sulfuri.

Dintre aceste metode, dăm spre exemplificare schema de separare a lui Carnog (6), care împarte cationii tot în cinci grupe analitice ca și analiza clasică :

I Schema analizei cationilor după Carnog.



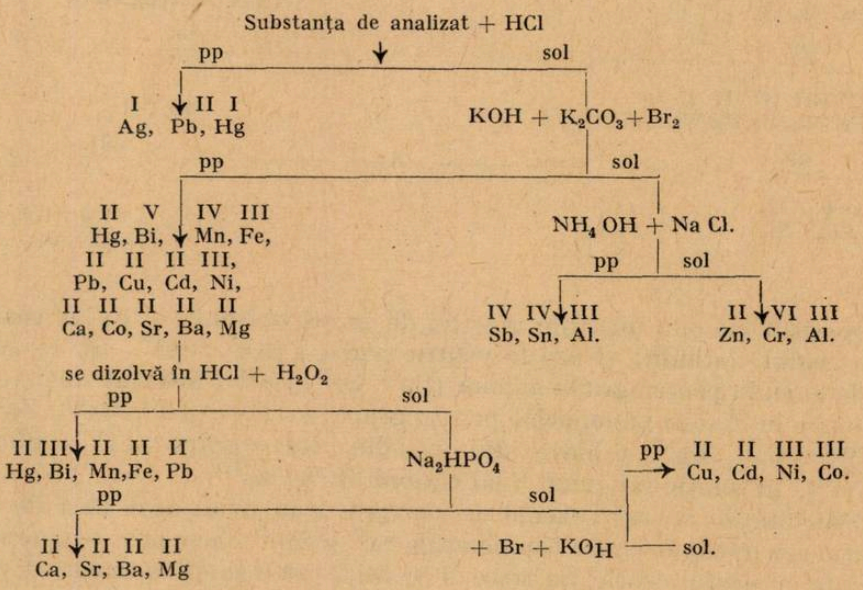
Prima grupă conține cationii ce dau cloruri insolubile: Ag^{I}, Pb^{II}, Hg^{I}. A doua grupă cuprinde un număr mare de cationi ce dau sulfuri greu solubile cu sulfura de amoniu și anume: Hg^{II}, Bi^{III}, Fe^{II}, Cu^{II}, Co^{II}, Ni^{II}, Cd^{II}, Pb^{II}, Zn^{II}, $As^{III,V}$, $Sb^{III,V}$, $Sn^{II,IV}$. A treia grupă cuprinde cationii alcalinoteroși precipitați ca sulfați și oxalați insolubili. A patra grupă a fosfaților greu solubili cuprinde cationii Mn^{II}, Mg^{II}, Al^{III}, și Cr^{III}. Iar grupa cincea cuprinde cationii alcalini și NH_4^+.

Marea importanță pedagogică și practică a combinațiilor cu sulf în analiza calitativă, nu este nicidecum contestată în această lucrare. Totuși ținînd seamă de inconvenientele metodei clasice și a celor derivate din ea, decurgînd din toxicitatea și mirosul dezagreabil al hidrogenului sulfurat utilizat la precipitare sau rezultat în urma dizolvării sulfurilor se impune luarea în considerație a metodelor în care folosirea hidrogenului sulfurat cît și a combinațiilor cu sulf este pe cît posibil înlăturată.

Dintre aceste metode, este destul de interesantă metoda lui Gerstenzang (17) a cărei schemă de separare o prezentăm mai jos:

Substanța necunoscută este tratată cu acid clorhidric cînd precipită clorurile insolubile de Ag^{I}, Pb^{II}, Hg^{I}. Soluția rămasă de la separarea clorurilor se tratează cu un amestec de hidroxid de potasiu, carbonat de potasiu și apă de brom, cînd precipită sub formă de hidroxizi și carbonați un mare număr de cationi: Hg^{II}, Bi^{V}, Mn^{II}, Fe^{III}, Pb^{II}, Cu^{II}, Cd^{II}, Ni^{III}, Co^{III}, Ca^{II}, Sr^{II}, Ba^{II} și Mg^{II}.

II. Schema analizei cationilor după Gestenzang



În soluție trec cationii amfoteri, care se separă în două subgrupe prin tratare cu un amestec de hidroxid de amoniu și clorură de sodiu și anume un precipitat conținînd acid stibic și stanic precum și hidroxidul de aluminiu și o soluție conținînd zincat, cromat și puțin aluminat alcalin.

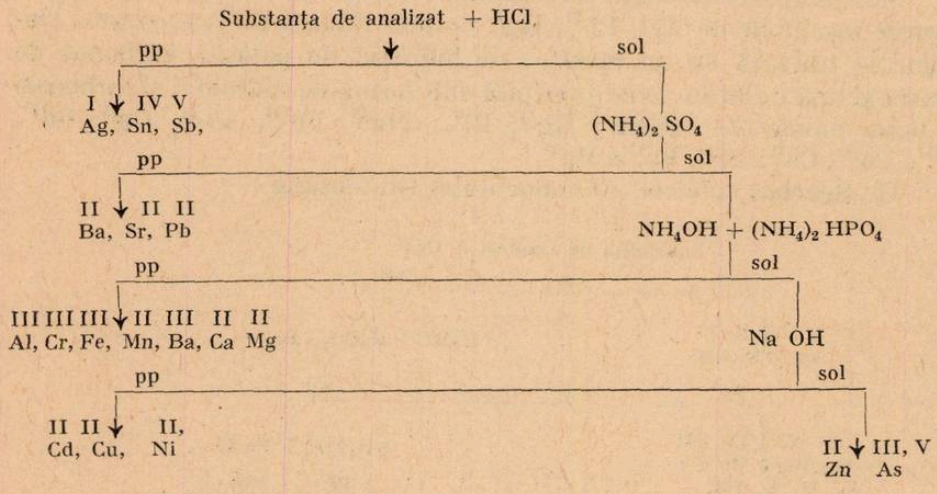
Grupa mare a hidroxizilor și carbonaților precipitată anterior se separă la rîndul ei în alte două subgrupe prin fierbere cu acid clorhidric și apă oxigenată, cînd se solubilizează Cu^{I}, Cd^{II}, Ni^{II}, Co^{II} și Mg^{II} și cationii alcalino-teroși de restul precipitatului ce conține Hg^{II}, Bi^{V}, Mn^{IV}, Fe^{III}, Pb^{II}.

Cationii alcalino-teroși și Mg^{II} se separă apoi din soluția clorhidrică prin precipitare în mediu amoniacal ca fosfați.

Experimentînd această metodă s-au întîmpinat dificultăți la separarea grupei a II-a ce cuprinde un mare număr de cationi precipitați sub formă de carbonați și hidroxizi. Deși această metodă înlătură toxicitatea și mirosul neplăcut al hidrogenului sulfurat, introduce în loc, toxicitatea și mirosul persistent al apei de brom.

O altă schemă de separare experimentală a fost cea a lui Rane și Kondaiak (18) pe care o prezentăm în continuare:

III. Schema analizei după Rane și Kondaiak



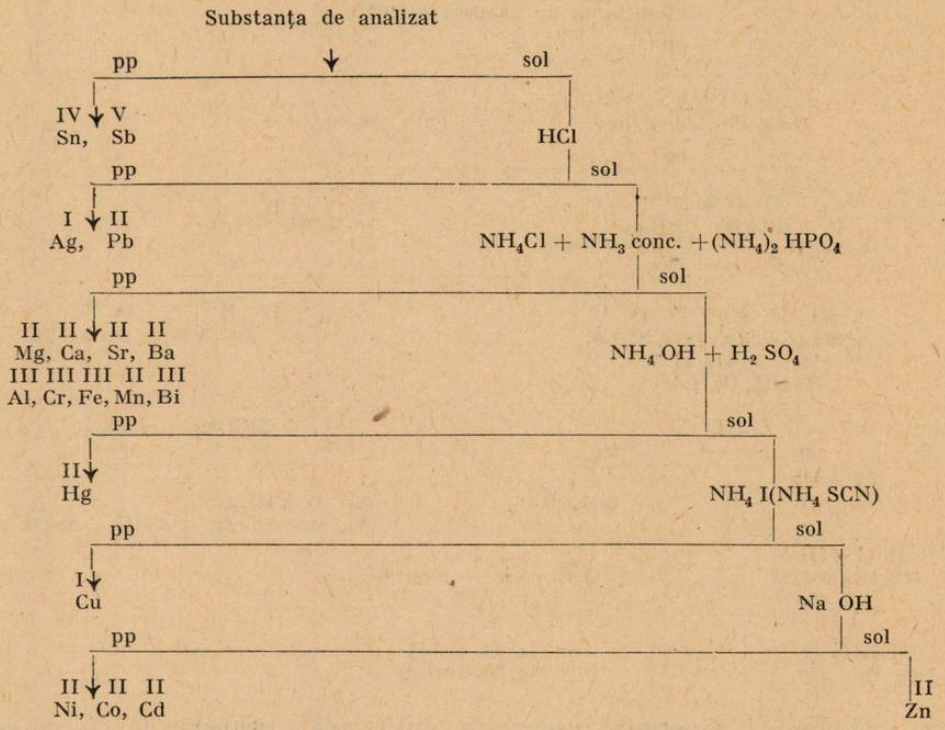
Această metodă folosește reactivi de grupă obișnuiți și puțin costisitori: acidul clorhidric și azotic pentru grupa I (Ag^{I}, Sn^{IV}, Sb^{V}); sulfatul de amoniu pentru grupa a doua (Ba^{II}, Sr^{II}, Pb^{II}); fosfatul monoacid de amoniu în mediu amoniaclal pentru grupa a III-a (Al^{III}, Cr^{III}, Fe^{III}, Mn^{II}, Bi^{III}, Ca^{II}, Mg^{II}) și hidroxidul de sodiu pentru grupa a IV-a (Cd^{II}, Cu^{II}, Ni^{II}), în soluție rămînînd final cationii Zn^{II} și As^{III}.

Dificultățile acestei scheme de separare s-au evidențiat încă de la începutul separării, deoarece combinațiile Sn^{II} și Sb^{III} chiar prin evaporare la sicitate cu acidul azotic, nu treceau în acid stanic și stibic insolubil, rămînînd în soluție și complicînd separarea.

De asemenea alături de fosfații grupei a III-a precipită și ceva Zn^{II}, Ni^{II}, Cd^{II} precum și Sn^{IV}, Sb^{V} ce nu s-au separat la grupa I.

Ținînd seama de deficiențele acestei metode s-a trecut la experimentarea alteia și anume a schemei de separare dată de Petraschenj (19).

IV Schema analizei cationilor după Petraschenj:

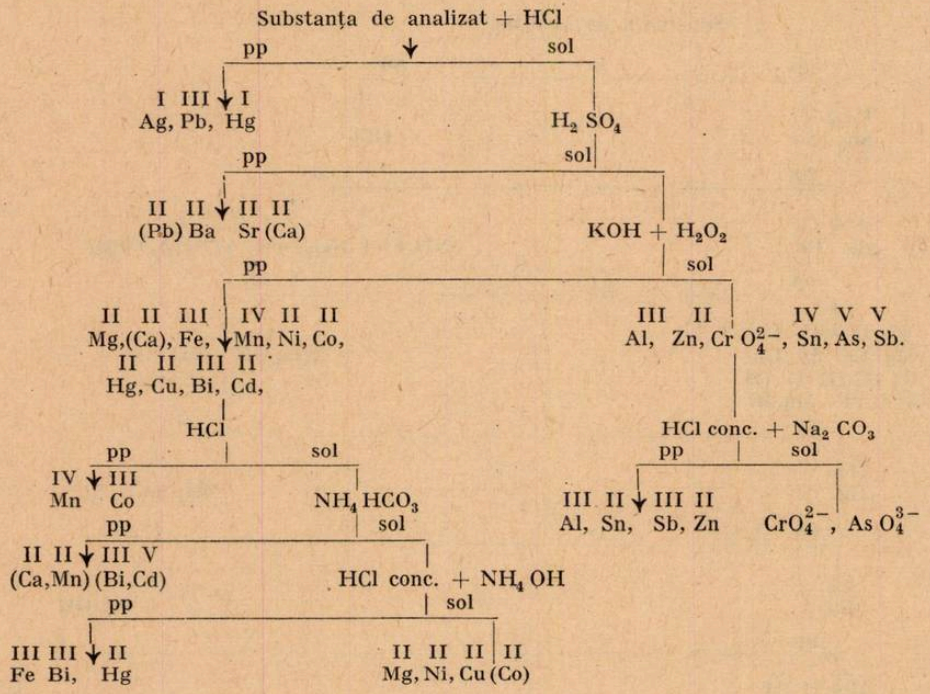


Spre deosebire de analiza clasică în care separarea grupelor II și III de cationi este îngreuiată de prezența anionului fosfat, necesitînd îndepărtarea lui, separarea după metoda Petraschenj nu este deranjată de anionul PO_4^{3-} ci dimpotrivă fosfații sînt utilizați ca reactivi de separare. Separarea cationilor se realizează în 6 grupe analitice: grupa I cuprinde $Sn^{II,IV}$ și $Sb^{III,V}$, precipitați ca acid metastanic și stibic la fierberea cu acid azotic Grupa a II-a cupinde clorurile insolubile de Ag^{I} și Pb^{II}. Grupa III-a este a fosfaților greu solubili ai cationilor Ca^{II}, Sr^{II}, Ba^{II}, Mg^{II}, Al^{III}, Cr^{III}, Fe^{III}, Mn^{II} și Bi^{III}. Se separă apoi Hg^{II} prin reducere cu hidroxilamină și Cu^{II} prin precipitare cu iodură sau sulfocianură de amoniu. Apoi restul soluției prin tratare cu hidroxid de sodiu precipită hidroxizii de Ni^{II}. Cd^{II} și Co^{II}, iar în soluție trece ionul zincat.

Experimentînd metoda s-au constatat numeroase interferări și separări incomplete, inclusiv deficiența observată în metoda precedentă la separarea Sn^{II} și Sb^{III}.

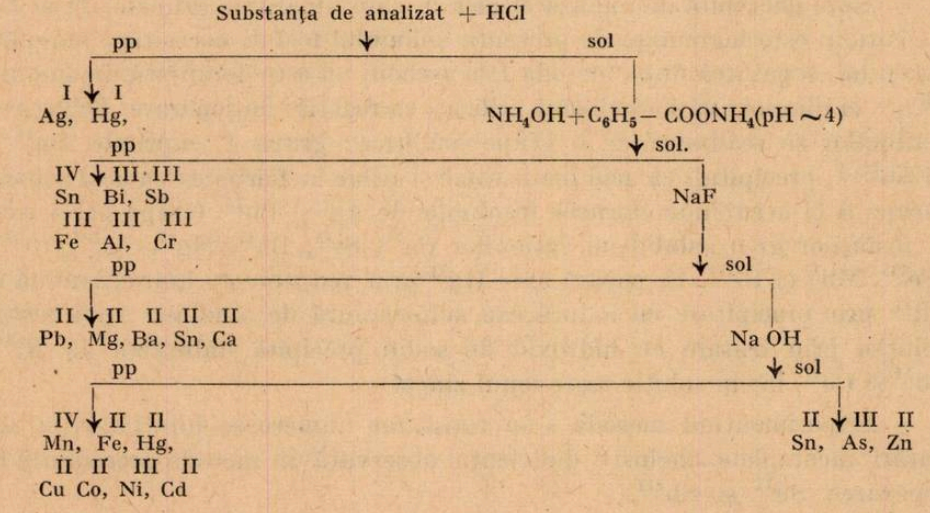
Interferări între ionii grupelor s-au observat și în cazul schemei Lewin (20) prezentată mai jos:

V. Schema separării cationilor după Lewin.



O metodă ce permite o separare cantitativă a grupelor de cationi s-a dovedit metoda lui West Vick și Le Rosen (21) a cărei schemă o prezentăm mai jos :

VI. Schema analizei cationilor după West, Vick și de Rosen.



Separarea cationilor se face în 6 grupe analitice : Prima grupă fiind a cationilor solubili Na^+, K^+, $^+NH_4^+$; a doua a clorurilor insolubile : Ag^I,

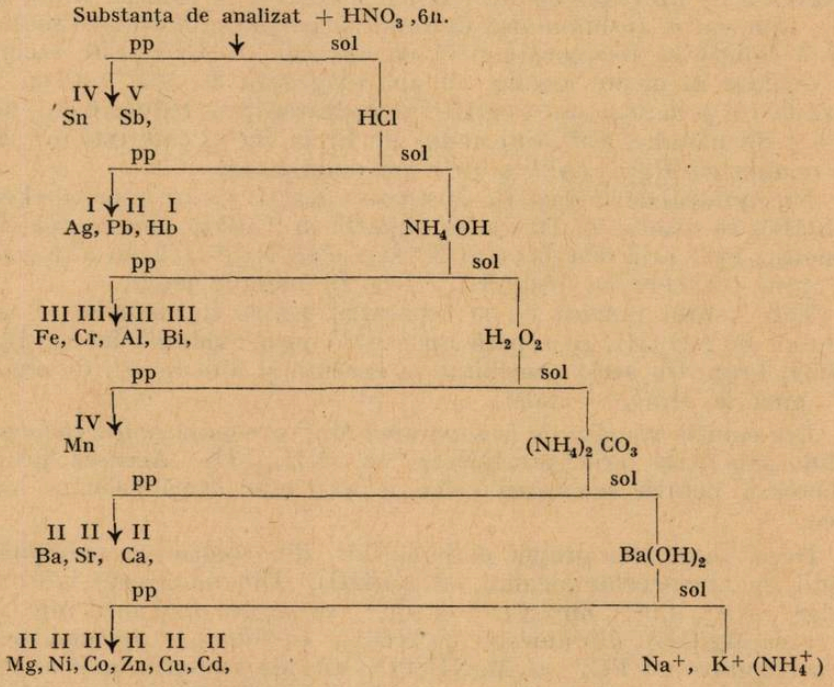
Hg^{I}; a treia cuprinde benzoaţii bazici de Fe^{III}, Al^{III}, Cr^{III}, clorurile bazice de Bi^{III}, Sb^{III} şi acidul metastanic, ce se obţin prin precipitare cu un amestec de benzoat de amoniu şi sodiu în mediu amoniacal; grupa a IV-a este a florurilor greu solubile de Pb^{II}, Mg^{II}, Ba^{II}, Sr^{II}, Ca^{II} precipitate cu fluoruri de sodiu; grupa a V-a este a hidroxizilor greu solubili de Mn^{II}, Fe^{II}, Hg^{II}, Cu^{II}, Co^{II}, Ni^{II} şi Cd^{II} precipitaţi cu hidroxid de sodiu. În soluţia finală rămîne grupa a VI-a a cationilor amfoteri Sn^{II}, As^{III}, Zn^{II}.

Metoda prezintă cele mai puţine interferenţe între grupe, însă are dezavantajul că utilizează unii reactivi mai scumpi sau mai greu de procurat cum sînt benzoatul de amoniu şi sodiu, fluorura de sodiu.

De asemenea pentru recunoaşterea unor ioni (Cd^{II}, Pb^{II}, Zn^{II}) utilizează combinaţii cu S^{2-}, ca sulfura de sodiu.

Ultima metodă experimentală este cea a lui Sachijew (22) ce foloseşte următoarea schemă de separare a cationilor:

VII. Schema analizei cationilor după Sachijew:



Această schemă se caracterizează prin utilizarea unui număr mult mai mare de reactivi de grupă puţin costisitori şi utilizaţi în mod curent în analiză. Se utilizează: acidul azotic pentru separarea gr. I (Sn^{IV}, Sb^{V}); acidul clorhidric pentru separarea grupei a II (Ag^{I}, Pb^{II}, Hg^{I}), hidroxidul de amoniu pentru gr. III (Fe^{III}, Cr^{III}, Al^{III}, Bi^{III}); apă oxigenată pentru separarea Mn^{IV}; carbonatul de amoniu pentru separarea Ca^{II}, Sr^{II}, Ba^{II} şi hidroxidul de bariu pentru separarea Mg^{II}, Ni^{II}, Co^{II}, Zn^{II}, Cu^{II}, Cd^{II}, în soluţia finală rămînînd Na^{+}, K^{+} şi NH_4^{+}.

Dezavantajele schemei constau în imposibilitatea precipitării cu grupa I-a a acizilor metastanic şi stibic din combinaţiile de $Sn^{II,IV}$ şi $Sb^{III,V}$, chiar prin fierberea pînă la sicitate cu acid azotic. Acidul metastanic şi

stibic se pot obține din stibiu și staniu metalic precum și din aliajele lor la dezagregare cu acid azotic. De asemenea ionul Hg^{I} nu s-a mai putut menține în această stare de oxidare în urma tratării inițiale a substanței de analizat cu acid azotic și deci nu s-a mai putut precipita cu acid clorhidric. Ca urmare a acestor deficiențe s-a experimentat o metodă de separare asemănătoare cu metoda Sachijew avînd următorul mers :

Într-o porțiune de sare solidă se recunoaște NH_4^+.

Sarea sau soluția de analizat se tratează cu HCl 2 n pentru a precipita grupa clorurilor insolubile : AgCl, $PbCl_2$ și Hg_2Cl_2. După răcire se separă și se prelucrează precipitatul după schema clasică de separare a grupei I.

În soluția ramasă după separarea gr. I, se adaugă cîteva picături de HNO_3 pentru oxidarea Fe^{2+} , Sb^{3+}, Sn^{2+} la valența maximă. Se adaugă apoi puțină NH_4Cl și NH_4OH, pînă la reacție alcalină. Precipită grupa hidroxizilor de Fe^{3+}, Cr^{3+}, Al^{+3}, Bi^{3+} și acizii $H_2[Sn(OH)_6]$ și $H[Sb(OH)_6]$. . Această grupă se prelucrează după separare, în modul următor. Se tratează cu un exces de Na OH 6n, cînd trec în soluție, total, aluminatul, stanatul și antimoniatul de sodiu și parțial cromitul de sodiu. Din această soluție se recunoaște Al^{3+} cu alizarină S. Cr^{3+} este recunoscut prin oxidare în mediu alcalin, cu apă oxigenată la CrO_4^{2-} galben. Sb se separă de Sn prin acidularea cu HCl și separarea prin reducere cu pilitură de Fe a Sb metalic. Sn^{4+} este redus de Fe la Sn^{2+}, care este recunoscut prin reacția cu $HgCl_2$ (Al^{III} și Cr^{III} nu deranjează).

Precipitatul de hidroxizi nedizolvat în NaOH și care cuprinde $Fe(OH)_3$ și $Bi(OH)_3$ se dizolvă în HCl și se împarte în 2 părți ; într-o porțiune se recunoaște Fe^{3+} prin reacția cu SCN^- sau $[Fe(CN)_6]^{4-}$, iar în altă porțiune Bi^{3+} prin reducere cu $[Sn(OH)_4]^{2-}$ la Bi metalic negru.

Din soluția rămasă de la separarea grupei hidroxizilor și acizilor insolubili în NH_4OH, se separă apoi Mn^{2+} prin oxidarea lui cu H_2O_2 la H_2MnO_3 brun. Cu acest precipitat se execută și alte reacții de oxidare a Mn^{IV} pînă la MnO_4^- violet.

Din soluția rămasă de la separarea Mn^{IV} se separă grupa carbonaților alcalino-pamîntoși prin precipitare cu $(NH_4)_2CO_3$. Această grupă se prelucrează pentru separarea celor 3 elemente după schema analizei clasice.

După separarea grupei carbonaților, din soluție se precipită toți cationii, în afara celor alcalini, cu $Ba(OH)_2$. Din amestecul hidroxizilor de Mg^{2+}, Ni^{2+}, Co^{2+}, Zn^{2+},Cu^{2+} și Cd^{2+} se separă mai întîi Mg^{2+}, prin dizolvarea $Mg(OH)_2$ din amestec cu NH_4Cl. În soluție se recunoaște Mg^{2+} prin precipitare cu PO_4^{3-} ca $MgNH_4PO_4$, alb. Se tratează apoi amestecul de hidroxizi rămas nedizolvat cu soluție NaOH 6n și cîteva picături de apă de Cl_2. În soluție trece $Na_2[Zn(OH)_4]$ din care se recunoaște Zn^{2+} prin recacția cu $[Hg(SCN)_4]^{2-}$ sau $[Fe(CN)_6]^{4-}$, ambele reacții executate în soluție după acidulare cu CH_3COOH. În urma oxidării cu apă de Cl_2, $Ni(OH)_2$ și $Co(OH)_2$ au trecut în $Ni(OH)_3$ și $Co(OH)_3$ mult mai greu solubili. Acești hidroxizi se află alături de cei de Cu și Cd. Prin tratarea cu CH_3COOH 1 n se dizolvă doar $Cu(OH)_2$ și $Cd(OH)_2$ care se separă. Cu^{2+} se recunoaște în această soluție prin formarea complexului amoniacal intens albastru, pe cînd Cd^{2+} dă complex incolor la tratarea cu NH_3. În soluția complecșilor amoniacali de Cu și Cd se blochează Cu^{2+} cu KCN și apoi se recunoaște Cd^{2+} prin tratare cu Na_2S, cînd se formează CdS galbenă sau cu $[Fe(CN)_6]^{4-}$, care dă $Cd_2[Fe(CN)_6]$ alb.

Precipitatul de $Co(OH)_3$ și $Ni(OH)_3$ se dizolvă în HCl, 6n. Soluția obținută se împarte în două: într-o porțiune recunoscîndu-se Co^{3+} cu α-nitrozo-β naftol (precipitat roșu) sau prin reacția cu SCN^-(inel albastru în alcool izoamilic); în celalaltă porțiune se recunoaște Ni^{2+} cu dimetilglioximă (precipitat roșu).

Recunoașterea a 4 ioni din cadrul acestei grupe (Zn^{2+}, Co^{2+}, Ni^{2+}, Cu^{2+}) se poate face mult mai rapid printr-o reacție în picături, utilizînd ca reactiv acidul rubeanic și anume: o hîrtie de filtru pentru cromatografie (Watmann sau Schileicher Schule) se impregnează cu acid rubeanic. Se usucă și se adaugă cu ajutorul unei pipete capilare o picătură din soluția de analizat. Rubeanații formați sînt dispuși în următoarea ordine: cel de Zn^{2+} alb-gălbui în centru, fiind urmat de cel de Co^{2+}, galben brun, de cel de Ni^{2+}, albastru verde și de cel de Cu^{2+}, negru.

Metalele alcaline Na^+ și K^+ se recunosc după îndepărtarea sărurilor de NH_4^+ prin calcinare, prin reacțiile lor de identificare cunoscute.

Metoda Sachijew modificată ce s-a experimentat, a dat bune rezultate în cazul analizei amestecurilor de săruri, permițînd o separare cantitativă a grupelor și o identificare relativ ușoară a ionilor din cadrul grupelor.

Neutilizînd H_2S, metoda are avantajul înlăturării toxicității și mirosului neplăcut al H_2S.

BIBLIOGRAFIE

1. *Vortmann, G.* — Allgemeiner Gang der qualitativen chemischen Analyse ohne Anwendung von Schwefel wasserstoffgas 3 Aufl. 1923.
2. *Bischoff, F.* In: Jahresbericht L. Realgymn. Köln — 1862.
3. *Eyster, G. S.*. In: Amer. Chem. Journ. 7, 1885, 21.
4. *Rawitsch, A.* In: Chem. Zentrbl. 70, 1899, 376
5. *Trapp, H.* In: Vergl. diese Ztschrft 51, 1912, 475.
6. *Carnog* — Semimicro Qualitative Analysis — Houghton Mifflin, Boston, 1961.
7. *Frähde, B. B. A.* In: Jahresbericht 19, 1866, 765.
8. *Orlowski, A.* In: Journ. d. Russ. chem. Ses., 15, 1883, 32.
9. *Vortmann, G.* In: Monatsh. f. chem. 7, 1886, 418.
10. *Hager, H.* In: Ztschrft. 34, 1895, 456.
11. *Vogtherr, M.* In: Ztschrft. 39, 1900, 44.
12. *Klein, J.* In: Rep. Annal. Chem. 7, 1887, 629; Chem. Zentbrl 18, 1887, 1869.
13. *Purgotti, A.* In: Gazz. Chim. ital. 42, II, 1912, 58; Ztschrft, 67, 1926, 290.
14. *Wawilov, N. W.* In: Ztsch. 34, 1928, 245.
15. *Schiff, R.* și *Tarugi, N.* In: Ber. Deutsch. Chem. Ges. 27, 1894, 3437.
16. *Komarowsky, A. S.* și *Goremykin, W. J.* In: Ztschrft 87, 1932, 339.
17. *Gerstenzanh* In: Journal of Chemical Education, 11, 1934, 369.
18. *Rane, I.* și *Kondaiak, B.* In: Journal of Indian Chemical Society, 14, 1937, 46.
19. *Petraschenj, W. J.* In: Z. Anal. Chem. 106, 1936, 330.
20. *Lewin Z.* Anal. Chem. 105, 1936, 328.
21. *West, P. Vick M.* și *Le Rosen A.* — Qualitative Analysis and Analitical Chemical Separations. The Macmillan Company-New-York 1956.
22. *Sochijew J.* — Qualitative Analyse ohne Schwefel wasserstoffgas, Sammlung von I. E.Orlow Moscova 1934.
23. *Sachijew, J.* In: Z. Anal. Chem. 106, 1936, 330.

STUDIU CALITATIV ASUPRA LUMINOZITĂȚII ȘI APODIZĂRII UNUI SISTEM OPTIC ÎN CAZUL ILUMINĂRI COERENTE ȘI PARȚIAL COERENTE

Prof. *HIRSCH L. PETER*, Arad

Introducere

În multe din problemele care se ocupă de studiul formării imaginilor de difracție, se folosește de obicei numai primul maxim de difracție produs în sistemul optic, ca imagine a unui punct luminos. Importanța părții centrale a figurii de difracție constă în faptul că ea determină caracteristicile principale ale sistemului optic considerat. De exemplu în cazul folosirii unei aperturi rectangulare, maximul de ordinul întîi, va avea o intensitate care comportă 5% din intensitatea maximului central. Suprimarea tuturor maximelor începînd cu maximul de ordinul întîi, care se suprapune peste cel central, în cazul rezoluției a două puncte, duce la lărgirea imaginii de difracție sau respectiv la descreșterea intensității ei. Datorită acestor cauze se poate ajunge la unele efecte secundare dintre care unul ar fi scăderea puterii de rezoluție a punctelor obiect. Din cele expuse mai sus rezultă că odată cu îmbunătățirea unor caracteristici optice se înrăutățesc altele, astfel încît se poate afirma că obținerea simultană a tututor calităților imaginii optice este un obiectiv foarte greu de realizat. De altfel în orice lucrare experimentală se caută îmbunătățirea unor parametrii principali în cercetarea propusă, în detrimentul celorlalți, care se consideră a juca un rol secundar. În cele ce urmează vom introduce noțiunea de apodizare, noțiune ce apare din ce în ce mai des în literatura de specialitate referitoare la probleme de optică modernă.

Apodizarea este fenomenul de suprimare a maximelor secundare din figura de difracție, suprimare care duce la o descreștere a fondului imaginii de difracție pe de o parte, iar pe de altă parte la creșterea puterii de rezoluție în partea centrală a imaginii. În lucrarea de față s-a încercat studiul calitativ al apodizării în cazul unui sistem spectroscopic obișnuit, format dintr-o pupilă de intrare, un sistem dispersiv și o suprafață pe care se formează imaginea (în cazul de față o placă fotografică). Pentru o înțelegere mai profundă a fenomenului de apodizare el trebuie legat de noțiunile de luminozitate și coerență.

Considerații teoretice

În spectroscopia instrumentrală se poate determina distribuția intensității spectrale de luminanță B, provenită de la o sursă, ca o funcție de caracteristicile variabile ale radiației. Una din aceste caracteristici este :

$$\sigma = \frac{1}{\lambda} \tag{1}$$

(λ = lungimea de undă a radiației). Spectrul obiectului va fi reprezentat de funcția $B\ (\sigma)$. Reprezentanta spectroscopică a funcției $B\ (\sigma)$, va fi $B'\ (\sigma)$, care va fi numită imaginea optică a funcției $B\ (\sigma)$. Dacă vom reduce spectrul radiației la o bandă foarte îngustă $d\sigma$, al cărei număr de undă central este σ_0, aparatul optic ne va da o imagine $W\ (\sigma - \sigma_0)$, imagine în principiu nedefinit lărgită. Funcția $W\ (\sigma - \sigma_0)$, se numește funcție instrumentală pentru radiația σ_0.

În cazul în care $W(\sigma-\sigma_0)$, rămîne constantă cînd σ_0 variază, imaginea spectrului prin apertură va fi dată de relaţia:

$$B'(\sigma) = \int_0^\infty B(\sigma_0)\, W(\sigma-\sigma_0)\, d\sigma_0 \tag{2}$$

sau:

$$B' = B \ast W. \tag{2'}$$

Se observă deci că funcţia $B'(\sigma)$ se scrie sub forma unui produs de convoluţie.

În practică funcţia $W(\sigma-\sigma_0)$, rămîne mereu constantă în domeniul numerelor de undă peste care se efectuează integrarea, relaţia (2) putînd fi prin urmare mereu aplicată, avînd o mare importanţă în determinarea funcţiei instrumentale.

Se poate efectua o schimbare de variabilă ţinînd cont de relaţia de definiţie a dispersiei.

$$D = \frac{d\xi'}{d\sigma} \tag{3}$$

Funcţia instrumentală poate fi deci scrisă ca fiind $W(\xi')$ sau în termenii unei variabile reduse ξ, ea devenind $W(\xi)$. Trebuie subliniat faptul că funcţia instrumentală nu va trebui să fie confundată cu imaginea de difracţie produsă de instrument, $I(\xi)$, cînd pupila de intrare este extrem de îngustă. Forma funcţiei $W(\xi)$ este determinată nu numai de difracţie ci şi de aberaţiile sistemului optic, lărgimea fantei de intrare şi în sfîrşit de limita de rezoluţie finită a plăcii foto. În cele ce urmează vom lua în considerare imaginea pupilei de intrare care se formează prin sistemul optic considerat.

Această imagine are o distribuţie luminoasă, distribuţie de care depinde gradul de coerenţă a fasciculelor care ilumineză pupila de intrare. Vom considera următoarele cazuri extreme:

a) *Iluminare complet necoerentă.*

Ne vom situa în acest caz, dacă o sursă largă va fi plasată departe de fanta de intrare a dispozitivului optic sau dacă ea va fi proiectată pe fantă prin intermediul unui condensor mult mai mare decît apertura colimatorului spectroscopic.

În acest caz notînd cu I distribuţia de intensităţi în imaginea de difracţie, iar cu F_1 funcţia fantei uniform luminate, vom avea pentru funcţia imaginii pupilei de intrare relaţia:

$$I_A = I \ast F_1 \tag{4}$$

b) *Iluminare complet coerentă.*

Situaţia realizată cu ajutorul unei surse de diametru unghiular nul, plasată pe axa sistemului optic la o distanţă mare înaintea fantei de intrare.

În acest al doilea caz, notînd cu A distribuţia de amplitudini în imaginea de difracţie, F_1 avînd semnificaţia cunoscută, vom avea pentru funcţia imaginii pupilei de intrare relaţia:

$$I_A = |A \ast F_1|^2 \tag{5}$$

Dacă vom nota cu F_2 funcția care reprezintă pupila de ieșire a sistemului optic, atunci vom obține pentru W relația:

$$W = I_A \ast F_2 \tag{6}$$

relație care după cum se observă va depinde de felul iluminării. Expresia luminozității sistemului optic va fi:

$$L = \int_{-\frac{1}{2}c}^{+\frac{1}{2}c} I_A(\xi)\, d\xi \tag{7}$$

unde c reprezintă lărgimea fantei de intrare. Se observă că luminozitatea depinde clar de proprietățile de coerență ale radiației incidente.

Partea experimentală

În vederea efectuării studiului propus ne-am folosit de un montaj experimental conceput în felul următor (fig. 1): sistem optic format din sursa S, fanta cu deschidere fixă F_1 (de 4 microni), spectrograf Hilger de cel mai simplu tip, a cărui fantă de intrare F_2 joacă rolul de fantă variabilă, fantă care ne-a permis varierea luminozității.

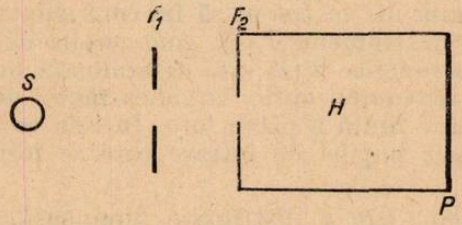


Fig. 1

De asemenea lărgimea fantei fixe F_1 va trebui convenabil aleasă. Luminozitatea va tinde să devină nulă cînd sursa S devine infinit de îngustă, în cazul în care iluminarea pe fantă este coerentă. Această condiție a fost satisfăcută în contextul experienței noastre prin situarea fantei fixe F_1, foarte înguste, în fața sursei formate de o lampă cu vapori de Hg, Hanau. În lucrare se studiază distribuția de intensități față de lărgimea variabilă a unei a doua fante, care este de fapt fanta de intrare F_2 a spectrografului. Acest studiu trebuie astfel făcut încît să obținem o luminozitate acceptabilă și totodată apodizarea dorită. În principiu lucrurile s-ar prezenta ca mai sus, însă pentru a mai avea o luminozitate acceptabilă sursa va trebui să aibă dimensiuni finite și în aceste condiții iluminarea celei de a doua fante F_2 nu se va mai face cu lumină coerentă, ci cu lumină parțial coerentă.

Pe de altă parte apodizarea descrește cînd luminozitatea crește, cu alte cuvinte apodizarea devine din ce în ce mai slabă odată cu creșterea deschiderii fantei variabile F_2. Desciderea fantei F_2 ne poate însă situa în cadrul unei iluminări aproximativ corente (la deschideri mici ale ei), parțial coerente și total necoerente.

Deci rezultă că apodizarea (ținînd cont de legătura existentă între apodizare și luminozitate) este o măsură directă a coerenței fasciculelor

de lumină incidente. Din cele observate mai sus rezultă ca o primă concluzie că efectul descreşterii apodizării cu creşterea luminozităţii este un avantaj net în favoarea folosirii iluminării necoerente cu apodizare,realizată cu ajutorul unui ecran absorbant.

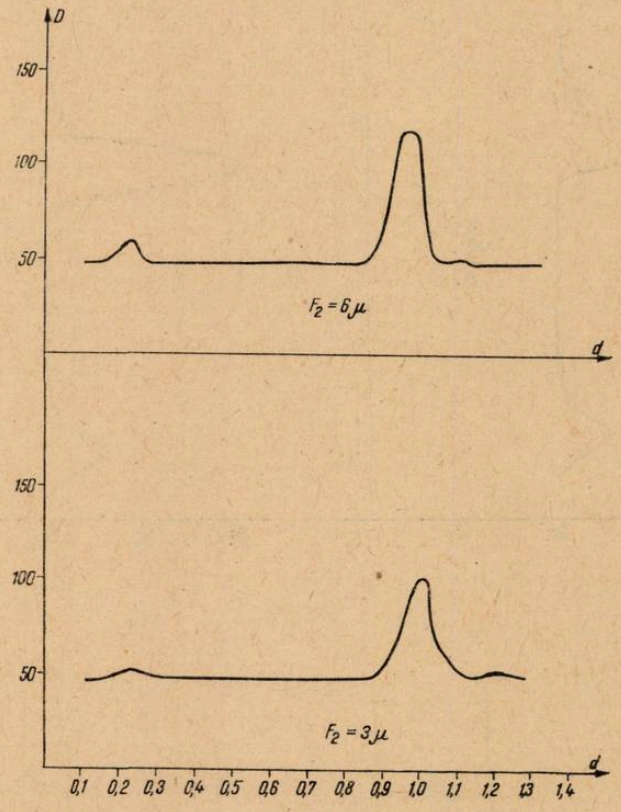


Fig. 2

Efectuarea experienţei a decurs în felul următor : În faţa sursei S (lampă Hanau cu Hg) se află dispusă fanta fixă F_1, cu deschiderea de 4 microni.

Această fantă situează lumina venită de la lampă în cazul coerent. Spectrograful Hilger joacă rolul de sistem dispersiv, iar fanta sa de intrare F_2 joacă rolul de fantă variabilă, dîndu-ne posibilitatea variérii luminozităţii. Am fotografiat pentru diferite deschideri ale fantei F_2 (deschideri care au variat de la 3—24 microni) spectrul mercurului. Prin variaţia deschiderii fantei F_2 ne-am situat în diferite cazuri de luminozitate, deci implicit de apodizare. Odată obţinută placa, ne-am ales din spectru două linii spectrale asupra cărora am efectuat studiul propus. (liniile $\lambda = 5700$ Å şi $\lambda = 5461$ Å). Fotometrînd cu ajutorul unui microfotometru MF_2 cele 2 linii, am ridicat curba de înnegrire şi aceasta pentru fiecare deschidere a fantei în parte.

Din curbele de înnegrire ne-am putut da seama de fenomenul de apodizare şi în special de variaţia lui în funcţie de deschiderea fantei variabile (deci de luminozitate) şi astfel ţinînd cont de dependenţa existentă

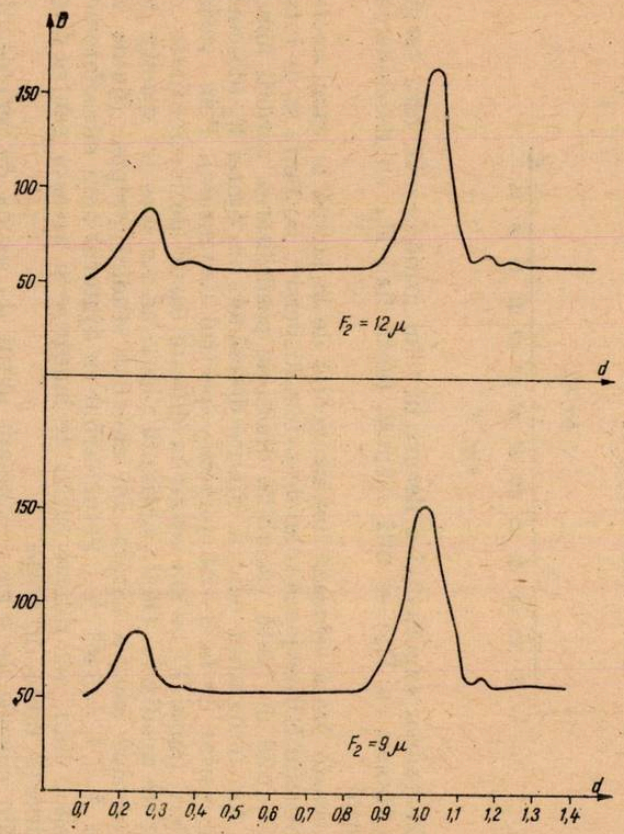

D
150
100
50
$F_2 = 12\,\mu$
d
150
100
50
$F_2 = 9\,\mu$
d
0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6 0,7 0,8 0,9 1,0 1,1 1,2 1,3 1,4

Fig. 3

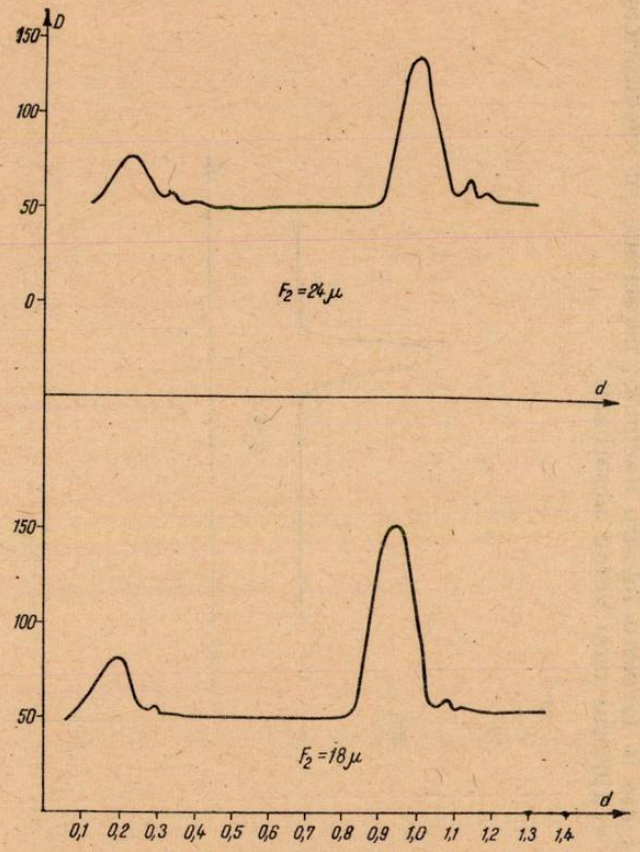

D
150
100
50
0
$F_2 = 24\,\mu$
d
150
100
50
$F_2 = 18\,\mu$
d
0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6 0,7 0,8 0,9 1,0 1,1 1,2 1,3 1,4

Fig. 4

între luminozitate şi apodizare, de felul iluminării din punct de vedere al coerenţei. Din cauza faptului că sistemul nu a fost perfect centrat optic fenomenul de apodizare a fost observat doar în regiunea din dreapta maximului central. Datorită faptului că studiul de faţă este — chiar prin modul formulării problemei — un studiu calitativ, ne-am limitat să observăm doar variaţia fenomenului de apodizare în funcţie de deschiderea fantei F_2. Această variaţie a putut fi bine pusă în evidenţă. Din analiza graficelor trasate (fig.2-4) se observă în mod clar cele afirmate şi anume că pentru luminozitate mică apodizarea este bună, iar lumina este considerată a fi coerentă, iar pentru luminozitate maximă (deci deschiderea maximă a fantei F_2) apodizarea este foarte slabă, lumina fiind total necorerentă. Pentru deschiderile intermediare ale fantei ne situăm în cazul luminii parţial coerente.

BIBLIOGRAFIE

1. *R. Barakat* — JOSA vol. 53, Nr. 2 (1963).
2. *E. Wolf*: — „Progress in optics" vol. 3.

EFECTUL DOPPLER

Student *MARIAN NICULAE*, I. .P. Bucureşti

Între fenomenele fizicii a căror explicaţie şi tratare matematică se face foarte simplu folosind formulele de transformare relativistă şi algebra cuadrivectorilor se numără şi efectul Doppler. Acesta constă în modificarea frecvenţei percepute de un observator aflat în mişcare relativă faţă de sursa de vibraţii.

În cazul undelor electromagnetice fiind indiferent faţă de cine (observator sau sursă) se consideră mişcarea, putem presupune că izvorul solidar cu referenţialul K' se mişcă uniform cu viteza v pe direcţia axei x, aceeaşi şi pentru referinţialul-observator K. (fig. 1)

Efectul Doppler se poate măsura pentru o direcţie a radiaţiei $\alpha = \pi$ (efect longitudinal) şi pentru o altă direcţie $\alpha = \pi/2$ (efect transversal).

În cele două cazuri rezultatele sînt calitativ diferite, primul explicîndu-se destul de „normal" cu mijloace clasice, iar al doilea fiind un efect pur relativist.

Preponderenţa unuia sau a celuilalt dintre efecte este uşor de studiat relativist, rezultînd curbe de variaţie care ilustrează întreg efectul.

Considerînd cuadrivectorul de undă al radiaţiei emise :

$$K' \equiv \left(\frac{\omega_0}{c}\cos\alpha', \frac{\omega_0}{c}\cos\beta', \frac{\omega_0}{c}\cos\gamma', i\frac{\omega_0}{c}\right)$$

şi cel al undei percepute în K :

$$K \equiv \left(\frac{\omega}{c}\cos\alpha, \frac{\omega}{c}\cos\beta, \frac{\omega}{c}\cos\gamma, i\frac{\omega}{c}\right)$$

trecerea de la unul la celălalt e dată de matricea Lorentz :

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} & 0 & 0 & \frac{-i\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \frac{i\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \end{bmatrix}$$

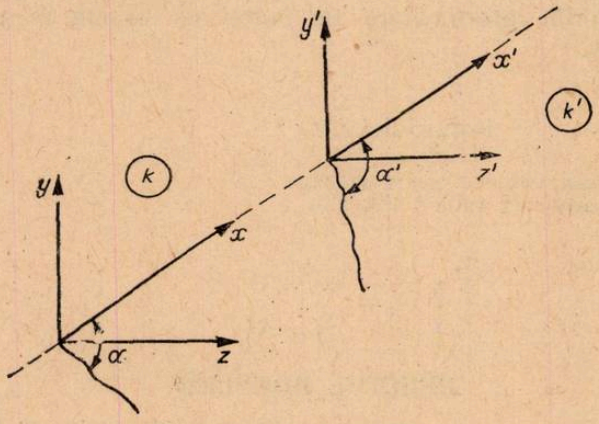


Fig. 1

și prin transformarea ultimei componente obținem :

$$i\frac{\omega}{c} = \frac{i\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} \cdot \frac{\omega_0}{c} \cos\alpha' + \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} i\frac{\omega_0}{c}$$

sau :

$$\omega = \omega_0 \frac{1+\cos\alpha'}{\sqrt{1-\beta^2}}, \text{ în care } \beta = \frac{v}{c}.$$

adică formula frecvenței percepute, în funcție de viteza de deplasare și de unghiul de emisie.

Desigur că toate comentariile se pot face pornind de la această formulă ; ele ar fi valabile însă numai principial, deoarece în practică se măsoară unghiul α și nu α'. Folosind formula de transformare a unghiurilor :

$$\cos\alpha' = \frac{\cos\alpha - \beta}{1-\beta\cos\alpha}$$

obținem :

$$\omega = \omega_0 \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{1-\beta\cos\alpha} \qquad (1)$$

Verificarea este imediată, dacă observăm că expresia :

$$\omega_0 = \omega \frac{1-\beta\cos\alpha,}{\sqrt{1-\beta^2}},$$

este identică cu expresia care se obține folosind transformarea Lorentz inversă :

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} & 0 & 0 & \frac{i\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \frac{-i\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \end{bmatrix}$$

Folosind așadar formula (1) să ilustrăm cazurile care apar.
1) $\alpha = \pi$. *Efect Doppler longitudinal.*
Expresia devine :

$$\omega = \omega_0 \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{1+\beta} = \omega \sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}}, \qquad \text{(a)}$$

iar reprezentarea grafică arată o mărire a frecvenței percepute, cînd referențialele se apropie ($v<0$) și o micșorare cînd se îndepărtează ($v>0$) (fig. 2) .

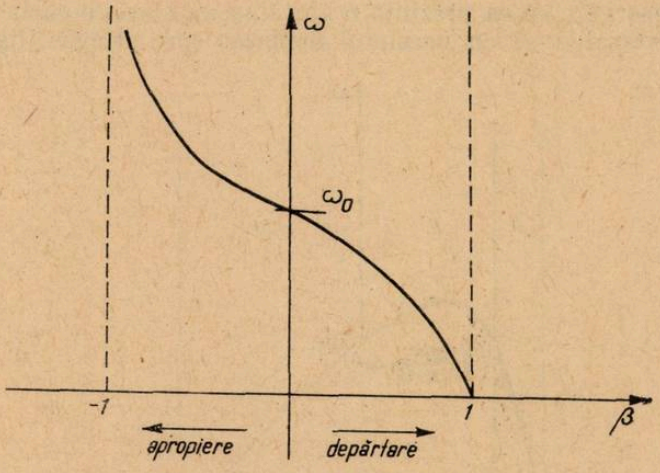


Fig. 2

2) $\alpha = \pi/2$. *Efect Doppler transversal.*
În acest caz, cos $\alpha = 0$ și avem dependența :

$$\omega = \omega_0 \sqrt{1-\beta^2}, \qquad \text{(b)}$$

curbă care arată că, de fapt, în toate cazurile cu excepția repaosului relativ, frecvența unei emisii transversale percepută în K, este mai mică decît frecvența undei emise din K' (fig. 3).

3) α oarecare. *Caz general.*
Acest caz trebuie analizat cu ajutorul formulei :

$$\omega = \omega_0 \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{1-\beta\cos\alpha} \qquad (\alpha \neq \pi, \pi/2).$$

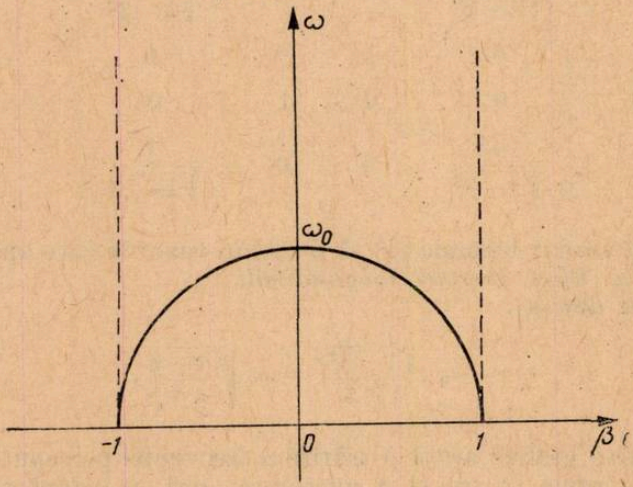


Fig. 3

Dacă trasăm în acest caz curba $\omega = \omega(\beta)$, de variaţie a frecvenţei percepute, observăm că ea prezintă o alură asemănătoare curbei ce descrie efectul transversal, însă cu maximul deplasat spre stînga. (fig. 4). Prin

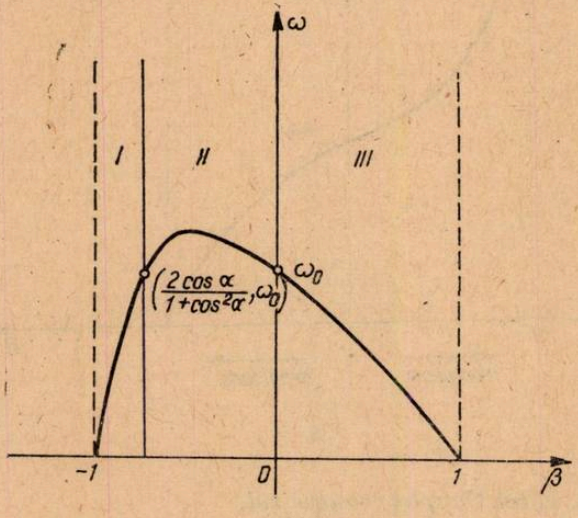


Fig. 4

suprapunerea celor două efecte apar două situaţii în care frecvenţa percepută este egală cu cea emisă şi anume :

a) $v = 0.$

b) la o apropiere cu viteza : $v = c \dfrac{2\cos\alpha}{\cos^2\alpha + 1}$

De asemenea, suprapunerea efectelor longitudinal și transversal dă curbei un caracter asimetric și împarte gama vitezelor de apropiere relativă în două domenii :

(II) — pentru viteze $v < c \frac{2\cos\alpha}{\cos^2\alpha+1}$ (domeniul include vitezele la care se lucrează în mod obișnuit), frecvența percepută este mai mare decît cea emisă. Maximul acestei frecvențe se obține la viteza $v = c.\ \cos\alpha$.

(I) — pentru viteze $v > c \frac{2\cos\alpha}{\cos^2\alpha+1}$ (în general viteze foarte mari) frecvența percepută este mai mică decît cea emisă, lucru care se întîmplă și pentru îndepărtări relative cu orice viteze. (III).

În plus, faptul că, cu excepția cazului $\alpha = \pi$, alura curbei amintește mai mult de cea a curbei efectului transversal, ne face să afirmăm că efectul relativist este mai important decît efectul clasic. Afirmația de mai sus este valabilă în majoritatea cazurilor, lucru ce rezultă evident din reprezentarea grafică a curbei $\omega_{max} = \omega_{max}(\alpha)$, care reprezintă, după parametrul α, trecerea de la efectul transversal la efectul longitudinal. Și anume pentru $\beta = \cos\alpha$, se obține $\omega_{max} = \omega_0 \frac{1}{\sin\alpha}$ (fig. 5)

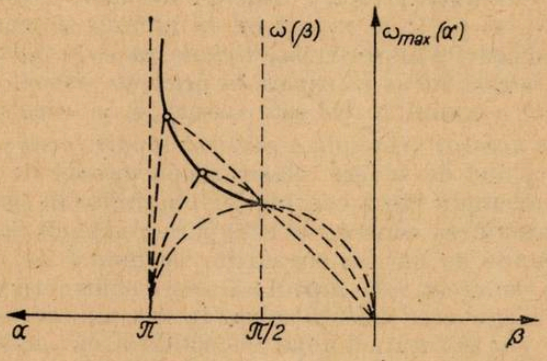


Fig. 5

În adevăr, algebra cuadrivectorilor se dovedește un instrument foarte potrivit studiului calitativ și cantitativ al efectului Doppler, furnizînd rezultate al căror interes practic devine tot mai mare.

DEDUCEREA ELEMENTARĂ A FORMULELOR DE TRANSFORMARE LORENTZ—EINSTEIN

Dr. Ing. *STOIAN PETRESCU*, I. P. Bucureşti

1. Introducere

În ciuda succeselor extraordinare ale Teoriei Relativităţii Restrînse, sînt încă puţini cei care asimilează cu uşurinţă acest capitol al fizicii. Aceasta se datoreşte pe de o parte faptului că trecerea de la conceptele clasice la cele relativiste întîmpină o mare rezistenţă în conştiinţa celor obişnuiţi mai întîi cu conceptele clasice, foarte apropiate de experienţa noastră cotidiană. Pe de altă parte, probabil că tratările elementare ale Teoriei Relativităţii Restrînse nu insistă în suficientă măsură asupra semnificaţiei fizice a operaţiilor matematice care se folosesc în deducerea formulelor de transformare Lorentz-Einstein.

În cele ce urmează se urmăreşte a prezenta o astfel de tratare, care să insiste mai mult decît uzual, tocmai asupra acestei semnificaţii fizice a operaţiunilor matematice care conduc la rezultatele „paradoxale", din punct de vedere clasic, ale Teoriei Relativităţii Restrînse.

2. Postulatele teoriei relativităţii restrînse

După cum se ştie, Einstein a clădit această teorie bazîndu-se pe două postulate :

a. principiul constanţei vitezei luminii în vid.

b. principiul relativităţii restrînse, prezent şi în fizica clasică.

Îmbinînd aceste două principii Einstein declară : *„lumina se propagă în vid cu viteza c"*, cel puţin în raport cu un anumit sistem inerţial k ... După principiul relativităţii restrînse, *trebuie să considerăm valabilitatea acestui principiu întemeiată şi în raport cu orice alt sistem inerţial"** (adică viteza de propagare a luminii în vid este aceeaşi, *c*, în orice sistem inerţial).

Din cuplarea acestor principii, a rezultat modificarea atît de radicală şi paradoxală din punct de vedere clasic, a conceptelor de spaţiu şi timp.

Să luăm de exemplu ideea contracţiei lungimilor în sistemele de referinţă mobile. Nu atît ideea contracţiei este paradoxală cît faptul că această contracţie nu depinde de natura corpurilor, ci numai de viteza lor. Ceea ce este esenţial de remarcat este faptul că aceste contracţii nu se pot pune în evidenţă dacă corpul este măsurat chiar în sistemul de referinţă în care se află el. Ele se pot constata numai cu condiţia ca „măsurătoarea" să se facă dintr-un alt sistem de referinţă şi anume din sistemul mobil în raport cu corpul, sau în cazul în care „măsurătoarea" se face chiar în sistemul de referinţă al corpului, trebuie folosită unitatea de lungime proprie sistemului mobil.

Întrucît măsurătorile de acest gen nu se pot efectua decît cu ajutorul luminii şi aceasta nu prin observarea directă vizuală, ci folosind neapărat un aparat optic, constatăm că lumina şi aparatul optic apar ca elemente absolut indispensabile unor asemenea experienţe. Rezultă de aici că trebuie să căutăm semnificaţia contracţiei relativiste a lungimii, nu în comportarea corpului măsurat (a cărui natură este arbitrară), ci în proprietăţile pe care le posedă lumina la interacţiunea cu aparatele optice

* A. Einstein. Teoria relativităţii Ed. Tehn. Buc. 1957, pag. 37.

folosite în procesul măsurării. Ne întrebăm atunci : Nu cumva lumina, la interacțiunea cu corpurile optice folosite în efectuarea „măsurătorilor" (sau a observării unor fenomene ce au loc într-un alt sistem de referință mobil) posedă anumite proprietăți fizice care conduc întotdeauna la aceleași contracții, indiferent de natura corpurilor a căror lungime o „măsurăm" ? Nu cumva în aceste proprietăți interacționale ale luminii cu corpurile optice se ascunde sensul fizic al principiului constanței vitezei luminii în vid, în orice sistem inerțial ? Nu cumva în aceste proprietăți este conținută semnificația fizică a tuturor celorlalte consecințe ale Teoriei Relativității Restrînse. Pentru a răspunde acestor întrebări trebuie să subliniem care este sensul fizic al postulatelor folosite și mai ales să insistăm în decursul demonstrației asupra locului în care sînt ele folosite și de asemenea asupra corelației între conținutul lor fizic și operațiunile matematice ce se fac în demonstrație. În acest scop să reluăm postulatele ce stau la baza teoriei Relativității Restrînse, insistînd asupra semnificației lor fizice și asupra consecințelor matematice.

a. *Principiul constanței vitezei luminii în vid.* Sursele luminoase în vid emit lumină întotdeauna cu viteza c, în sistemul lor propriu. Astfel că în sistemul sursei care emite, se poate scrie oricînd relația :

$$\lambda\nu = c \tag{1}$$

unde λ este lungimea de undă, iar ν este frecvența.

b. *Principiul relativității restrînse.* Dacă sursa de lumină se mișcă uniform rectiliniu față de observator și dacă observatorul efectuează o experiență optică, atunci, în urma interacțiunii luminii cu corpurile optice, se modifică λ și ν, devenind respectiv λ' și ν'. Noile valori ale lungimii de undă și ale frecvenței vor respecta însă întotdeauna relația :

$$\lambda\nu = \lambda'\nu' = \lambda''\nu'' = c. \tag{2}$$

Dacă se mișcă observatorul față de sursa luminoasă, situația va fi aceeași ca mai sus. Prin aceasta se postulează de fapt că relația (1) este o relație de definiție generală a legăturii între lungimi și durate, lucru care de obicei se admite în mod tacit, fără vreo mențiune specială. (Precizăm că modificările admise aici, privind pe λ și ν nu sînt de natură Doppler, ci constituie proprietăți ale luminii după interacțiunea cu aparatele optice de observare).

c. La aceste postulate se adaugă o afirmație cu caracter de evidență care în fond are valoare de postulat (l-am putea numi eventual postulatul măsurării lungimilor) : În orice sistem inerțial putem exprima o lungime x prin relația :

$$x = ct, \tag{3}$$

cu condiția ca lungimea x să se măsoare folosind ca unitate o mărime proporțională cu λ, iar timpul t să se determine folosind ca unitate o mărime proporțională cu $\tau = \frac{1}{\nu}$, unde λ și ν se referă la aceeași rază de lumină (adică respectă condiția (2)).

Cu aceste precizări în legătură cu postulatele teoriei relativității restrînse, se poate explica cu ușurință motivul pentru care un același corp material măsoară, în sisteme inerțiale diferite, lungimi diferite. În ce sens are loc aceasta ? Oare în sensul că, măsurînd corpul într-un sistem considerat fix și apoi măsurîndu-l în sistemul mobil (deplasîndu-ne de

data aceasta odată cu corpul) vom obține rezultate diferite? Nu. Rezultatele vor fi aceleași pentru că s-au folosit unitățile proprii sistemelor respective. Rezultatele măsurătorilor vor fi diferite numai în următoarele situații :

— fie dacă păstrăm corpul mereu în același sistem inerțial, dar efectuăm măsurătorile, observatorul fiind plasat succesiv în cele două sisteme diferite (aflate în mișcare relativă unul față de celălalt) ;

— fie dacă ducem corpul dintr-un sistem în altul, dar păstrăm observatorul într-un același sistem. Prin aceasta obligăm de fapt pe observator să folosească odată unitatea de lungime proprie sistemului în care se află, iar a doua oară sa folosească unitatea de lungime provenită din celălalt sistem, prin intermediul luminii.

După cum vom vedea în continuare, deducerea elementară a transformărilor Lorentz nu se poate face în mod riguros fără a apela la unele afirmații cu privire la modalitatea de principiu (cel puțin) prin care se efectuează măsurătorile coordonatelor și ale duratelor temporale. Ori tocmai insuficienta insistare asupra acestui aspect determină probabil, la începători, apariția unei senzații de lipsă de semnificație fizică, atît asupra provenienței transformărilor Lorentz-Einstein cît și asupra consecințelor lor.

3. Deducerea elementară a transformărilor Lorentz-Einstein.

Considerăm sistemele **OX** și **O'X'** din fig. 1
Presupunem că sistemul **O'X'** se deplasează uniform rectiliniu cu viteza v, în raport cu sistemul **OX**. Admitem că în momentul în care O' coincidea

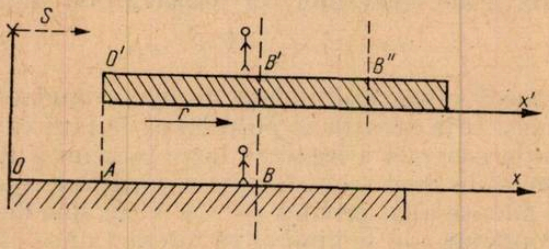


Fig. 1

cu O, s-a emis un semnal luminos S, din sistemul fix. Dorim să aflăm relațiile de trecere de la un sistem la celălalt. Scriem o relație geometrică evidentă :

$$OA + AB = OB \tag{4}$$

Admitem că mișcarea inerțială nu determină modificări asupra lungimii reale a corpurilor. Prin urmare :

$$AB = O'B' \tag{5}$$

(această afirmație s-ar putea verifica, fie prin compararea rezultatelor măsurătorilor chiar în sistemele în care se află cele două segmente, folosind unitățile proprii, fie prin emiterea unor semnale perpendiculare pe direcția OX din punctele O și B, care să fie recepționate în punctele A și B).

În condițiile menționate putem scrie în locul relației (4) :

$$OA + O'B' = OB. \tag{6}$$

Viteza v, este dată în raport cu sistemul **OX**, deci ea este definită prin relația :

$$v = \frac{dx}{dt}, \tag{7}$$

de unde :

$$OA = \int_0^t dx = vt. \tag{8}$$

Atunci relația (6) devine :

$$vt + O'B' = OB \tag{9}$$

Conform cu postulatele (a) și (c) putem scrie :

$$OB = x = ct. \tag{10}$$

Înlocuind în (9) :

$$vt + O'B' = ct, \tag{11}$$

sau, separînd termenii măsurați în același sistem, obținem :

$$O'B' = ct - vt \tag{12}$$

Aici intervine, de obicei , în demonstrații o afirmație insuficient analizată și argumentată. Și anume se identifică $O'B'$ cu x', care se exprimă similar cu x, din (10). Putem oare să-l exprimăm pe x' la fel ca pe x, și dacă da, pe ce se bazează o astfel de exprimare?

Răspunsul lui Einstein la această problemă este următorul. În sistemul **O'X'** lumina se propagă tot cu viteza c, dar avem un alt timp propriu t'.

Deci putem scrie :

$$x' = ct'. \tag{13}$$

În plus se mai afirmă că $O'B'$ nu este egal cu AB, ci sînt mărimi doar proporționale, cu un coeficient α, adică :

$$\alpha ct' = (ct - vt). \tag{14}$$

De obicei se trece foarte repede și ușor peste acest pasaj. După cîte se pare însă, tocmai acest pasaj conține esențialul, deoarece tocmai aici se face apel la principiul constanței vitezei luminii. Pentru a clarifica problema, rezultă că trebuiesc justificate fizic ultimele două relații [(13) și (14)], precum și mărimile ce intră în ele. În lumina ipotezei formulate în paragraful anterior, relația (3) provine din postulatul (c) și are un dublu sens :

— fie măsurăm viteza luminii emise în sistemul propriu, și atunci vom scrie :

$$c = \frac{x}{t} = \frac{\lambda}{\tau} = \lambda\nu ; \tag{15}$$

— fie măsurăm viteza luminii care provine dintr-un sistem exterior mobil și atunci vom obține tot c:

$$c = \frac{x'}{t'} = \frac{\lambda'}{\tau'} = \lambda'\nu', \tag{16}$$

dar cu modificările respective suferite de λ şi ν. În această ultimă situaţie se face de fapt apel la postulatul (b) . Se naşte atunci întrebarea: care din ultimile două relaţii [(15) sau (16)] se foloseşte de fapt în relaţiile (13) şi (14)?

a) Să presupunem că se foloseşte relaţia (15). Atunci înseamnă că se foloseşte o sursă proprie de lumină care ar fi plasată în O'. În sistemul **O'X'** situaţia este aceeaşi ca şi în sistemul **OX**, din punctul de vedere al propagării luminii proprii (conform cu postulatul a) şi deci :

$$x' = ct \tag{17}$$

Dar aceasta nu înseamnă că x' este egal cu O'B', ci că $x' = OB = O'B''$. Rezultă că un atare punct de vedere nu se poate folosi pentru a-l exprima pe O'B' analog cu OB. În plus acest punct de vedere nu este în acord cu constatările observatorului plasat în punctul B'. Cele exprimate mai sus ar fi în acord cu constatările unui observator terţ, situat în exteriorul celor două sisteme. Pe noi ne interesează însă cu totul altceva din punct de vedere fizic. Şi anume ne interesează ce poate spune observatorul din sistemul **O'X'** despre procesele din sistemul **OX**, şi invers.

b) Această constatare atrage după sine concluzia că trebuie să folosim relaţia (16), adică, să folosim pentru măsurători lumina care provine din celălalt sistem. Deci trebuie să scriem :

$$x' = ct' \tag{18}$$

avînd permanent în vedere faptul că lumina provine din celălalt sistem.

Cine vor fi aici x' şi t' sau cu alte cuvinte ce semnificaţie au aceste mărimi?

Să lămurim cine este t'. Acesta este timpul necesar luminii emise din O să ajungă în B', măsurat cu ceasul din sistemul mobil **O'X'**. Acest ceas funcţionează pe baza semnalelor luminoase care provin din sistemul exterior faţă de poziţia ceasului (adică provin din sistemul **OX**). Este deci evident că este vorba de varianta (b) deoarece această măsurătoare este concepută să se refere la fenomene exterioare. Atunci conform cu relaţia :

$$c = \frac{\lambda'}{\tau'} = \frac{\lambda}{\tau} = \frac{\alpha\lambda}{\alpha\tau}, \tag{19}$$

am fi tentaţi să punem în loc de $t' = t/\alpha$. Aceasta este însă o eroare. Deş putem pune $\tau' = \tau/\alpha$, nu putem pune $t' = t/\alpha$, deoarece prima se referă la un acelaşi eveniment (sau la o aceeaşi lungime parcursă de lumină) pe cînd a doua se referă la lunigimi diferite ; şi anume, în cazul sistemului **OX**, în timpul t se parcurge segmentul OB, iar în cazul sistemului **O'X'** în timpul t' se parcurge segmentul O'B' : Prin urmare $t' \neq t/\alpha$; deşi $\tau' = \frac{\tau}{\alpha}$.

Să lămurim şi cine este x'. Acesta este tocmai rezultatul numeric al măsurătorii lui O'B' cu un etalon de lungime modificat faţă de sistemul **OX** şi anume conform cu modificarea lui λ' :

$$\lambda' = \frac{\lambda}{\alpha} . \tag{19 a}$$

Prin urmare x' este numeric diferit de $O'B' = AB$, deşi din punct de vedere fizic se referă la acelaşi segment. Pentru a justifica această ultimă afirmaţie trebuie să ţinem cont că s-a modificat unitatea. Prin urmare:

$$AB = O'B' = \alpha x' = \alpha\, ct'. \tag{20}$$

Ţinînd cont de (9) obţinem:

$$\alpha ct' = ct - vt \tag{21}$$

Constatăm deci că relaţiile (13) şi (14) comportă o anumită discuţie care conţine de fapt întregul fond fizic al problemei.

Pînă aici nu s-a folosit încă principiul relativităţii restrînse. Pentru a-l folosi trebuie să prezentăm o situaţie inversă faţă de cea din fig. 1. Adică sistemul care se mişca trebuie să devină imobil, iar cel care era imobil trebuie să se deplaseze cu viteza v.

Oare trebuie să modificăm şi situaţia sursei de lumină? Adică trebuie să trecem sursa în sistemul imobil sau s-o lăsăm în sistemul în care se afla anterior? Ce ne spune principiul relativităţii în această privinţă? Ne spune că efectul este acelaşi dacă se mişcă sursa faţă de observator, sau dacă se mişcă observatorul, iar sursa e fixă. Deci trebuie să comparăm situaţia anterioară cu situaţia opusă ei. Adică înainte sursa era fixă, acum ea trebuie să se miste. Deci va rămîne legată de vechiul sistem şi se va mişca odată cu el, conform cu fig. 2

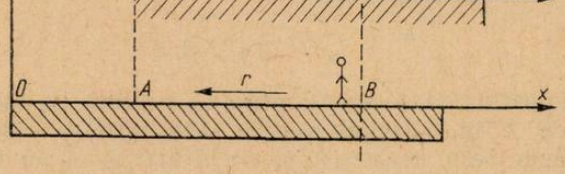


Fig. 2

Procedăm analog. Începem cu viteza v, care este definită acum în raport cu sistemul $O'X'$. Deci:

$$v = \frac{dx'}{dt'} \tag{22}$$

De unde:

$$OA = \int_0^{t'} dx' = vt'. \tag{23}$$

Apoi scriem egalitatea geometrică:

$$OB = OA + AB \tag{24}$$

Dar $AB = O'B'$. Prin urmare:

$$OB = vt' + O'B'. \tag{25}$$

Folosind postulatul (c) şi timpul propriu t', putem pune în locde $O'B'$:

$$x' = O'B' = ct'. \tag{26}$$

Deci (24) devine :

$$OB = vt' + ct'. \tag{27}$$

Cu privire la OB putem face aceleaşi consideraţii ca anterior cu privire la O'B' (în varianta **O'X'** mobil), şi deci :

$$OB = \alpha x = \alpha\, ct. \tag{28}$$

De unde :

$$\alpha ct = ct' + vt'. \tag{29}$$

Din (21) şi (29) rezultă prin înmulţire membru cu membru :

$$\alpha = \sqrt{1-v^2/c^2}. \tag{30}$$

Înlocuind acum pe α în (21) şi (29) obţinem respectiv :

$$x' = \frac{x-vt}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \; ; \; x = \frac{x'+vt'}{\sqrt{1-v^2/c^2}}, \tag{31}$$

care sînt bine cunoscutele relaţii de transformare Lorentz-Einstein, pentru coordonate. Din acestea se obţine contracţia lungimilor :

$$x_2' - x_1' = (x_2 - x_1)\sqrt{1-v^2/c^2}, \tag{32}$$

care nu mai constituie însă o surpriză inexplicabilă în cadrul demonstraţiei de mai sus. Şi anume s-a admis prin postulatul (b) că lungimea de undă a luminii care provine din sistemul fix se modifică în sistemul mobil, şi devine :

$$\lambda' = \frac{\lambda}{\alpha} = \frac{\lambda}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \tag{33}$$

Dar conform cu postulatul (c) noi adoptăm ca unitate de lungime o mărime proporţională cu λ' în sistemul mobil ; prin urmare valoarea numerică a lungimilor măsurate în acest sistem, va fi mai mică cu factorul α, decît cea determinată în sistemul fix.

Consideraţii similare se pot face şi cu privire la duratele temporale.

4. Concluzii

Prin demonstraţia de mai sus, se clarifică unele etape importante ale obţinerii elementare a transformărilor Lorentz-Einstein, ceea ce le oferă un anumit conţinut fizic, insuficient scos în evidenţă în unele tratări actuale. Noutatea acestui mod de a privi lucrurile, constă în faptul că ceea ce se numeşte contracţia lungimilor nu apare pentru începător ca o surpriză paradoxală, ci este o chestiune previzibilă şi explicabilă, din punct de vedere fizic, chiar prin conţinutul fizic al postulatelor admise aprioric.

Aceasta ne îndreptăţeşte să credem că este posibilă tratarea, în acelaşi spirit, şi a altor consecinţe interesante ale Teoriei Relativităţii Restrînse cum ar fi : teorema compunerii vitezelor, dependenţa masei de viteză, legătura între masă şi energie.

În final remarcăm că deducerea tensorială a transformărilor Lorentz-Einstein, pe baze similare cu cele de mai sus, din punctul de vedere al insistării asupra semnificaţiilor fizice, nu ridică nici un fel de dificultăţi de fond, deoarece şi în acest caz se face apel la aceleaşi principii.

CÎMPURI DE FORȚĂ

Lecție de sinteză pentru anul IV liceu

Prof. *IOSIF ALEX. MATHE*, Șimleul Silvaniei

Noțiunea de cîmp a apărut în urma unei acumulări imense de fapte, rezultate din nenumărate experiențe și observații asupra fenomenelor naturii. Introducerea conceptului de „cîmp" a fost necesară pentru studierea forțelor fundamentale. Noțiunea de cîmp s-a extins astăzi în multe domenii ale științei. Astfel întîlnim cîmpul în algebra modernă ca „structură de cîmp", în teoria probabilității ca „cîmp de evenimente" etc.

În fizică un cîmp este orice mărime fizică ce ia valori diferite în spațiu. Deci prin cîmp înțelegem o mărime ce depinde de poziția în spațiu. Notarea simbolică a cîmpului poate fi $C(x, y, z)$ unde x, y, z sînt coordonate spațiale. În acest caz vorbim de cîmpuri statice, deoarece în același punct valoarea mărimii rămîne constantă în timp. În funcția analitică a cîmpului $C(x, y, z, t)$ mărimea fizică se modifică în timp, deci reprezintă un cîmp variabil în timp. Fizica deosebește două tipuri de cîmpuri:

1. — Cîmpul scalar, definit în fiecare punct al spațiului sau al unei anumite părți a spațiului printr-o singură mărime scalară, cu ajutorul funcției $C(x, y, z)$. Astfel de cîmp este temperatura, de exemplu a unui bloc încălzit neuniform. Dacă unim toate punctele pentru care cîmpul are aceeași valoare, obținem suprafața izotermă. Astfel de cîmpuri mai sînt, densitatea, potențialul electric, etc.

2. — Cîmpul vectorial, dat de un vector $\vec{C}$ pentru fiecare punct în spațiu. Vectorul variază de la un punct la altul. Pentru cunoașterea cîmpului vectorial trebuie știute funcțiile componente $C_x(x, y, z)$, $C_y(x, y, z)$, C_z (x, y, z), de coordonatele unui punct în spațiu. Astfel de cîmpuri sînt: accelerația, forța, viteza, trecerea căldurii din punctele mai calde spre cele mai reci. (Schimbul de căldură este o cantitate dirijată și reprezintă mărimea vectorului de propagare a căldurii într-un punct, prin care înțelegem cantitatea de energie termică ce trece în unitate de timp și pe unitate de arie, printr-un element de suprafață, perpendiculară pe direcția de propagare).

Un rol important în fizică au cîmpurile de forță ca: cîmpul gravitațional, cîmpul electromagnetic, cîmpul nuclear etc. În cadrul acestor cîmpuri se studiază forțele fundamentale. Faraday a introdus prima dată noțiunea de cîmp electric și magnetic. Ele sînt cîmpuri statice și sînt două aspecte ale cîmpului electromagnetic. Studiul cîmpului electric, magnetic și gravitațional prezintă multe analogii matematice, deși există diferențe esențiale între ele.

Pentru studierea comună a acestor cîmpuri să introducem simbolul η, care reprezintă pentru cîmpul gravitațional masa, iar pentru cîmpul electric, sarcina electrică.

Considerînd valoarea lui η constantă, s-a verificat experimental interacțiunea între două obiecte dată de legea inversului pătratului distanței, care constituie un model — în cadrul unor limite admisibile. Forma ei vectorială este:

$$\vec{F} = k \frac{\eta_1 \eta_2}{r^3} \vec{r}$$

În cazul cîmpului gravitațional reprezintă legea lui Newton și $k = \frac{1}{15.10^9}$ $\frac{Nm^2}{kg^2}$, iar pentru cîmpul electric relația reprezintă legea lui Coulomb unde $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ și $\varepsilon_0 = 8{,}854.10^{-12}\frac{F}{m}$, care se numește permitivitate electrică. Prin ε este caracterizată substanța în cîmp.

După modelul de mai sus, se pune problema dacă pentru cîmpul magnetic există masă magnetică. Experiențele au dovedit că nu există masă magnetică, deși cu acestă „masă" am putea lucra corect din punct de vedere matematic (cărțile vechi de fizică folosesc masele magnetice). Fizica a clarificat că magnetismul în realitate este un efect relativist, este rezultatul mișcării sarcinilor electrice. Dacă ne-am mișca împreună cu sarcinile electrice, nu am constata nici un efect magnetic, iar în starea sarcinilor electrice nu am constata nici o schimbare. Deci magnetismul poate să dispară complet în unele sisteme de coordonate. Din acest motiv nu este chiar corect să ilustrăm cîmpurile cu linii de forță, deși această metodă se practică cu mult succes în fizică. Un fenomen asemănător se întîmplă și în cîmpul gravitațional, cînd un corp cade liber.

Forțele magnetice și forțele electrice pot fi în realitate atribuite unui singur cîmp, ca două aspecte diferite ale lui. Un cîmp electric variabil nu poate exista fără magnetism.

Forța arătată mai sus se poate analiza cu ajutorul conceptului de cîmp.

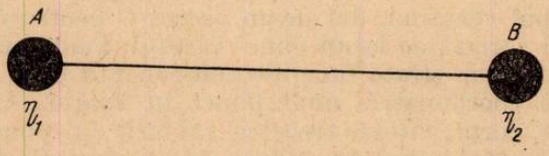


Fig. 1

Obiectul η_1 crează cîmpul, iar η_2 sesizează această forță. η_2 poate fi denumit și obiectul etalon. Să găsim o relație, care definește cîmpul $\vec{C}$. $\vec{C}$ poate apărea în două feluri:

1. $$\vec{F} = \eta_2 \vec{c}$$

unde $\vec{C}$ este „starea" produsă de η_1 și care există indiferent dacă există sau nu η_2, iar $\vec{F}$ este răspunsul lui η_2 la $\vec{C}$. $\vec{C}$ se numește cîmp și este un vector. Deci:

$$\vec{C} = \frac{\vec{F}}{\eta_2}$$

unde η_2 este etalonul de unitate. Relația de mai sus poate fi chiar relația definitorie a cîmpului, care stabilește și unitatea cîmpului (sau a intensității de cîmp).

2. Pe de altă parte relația pentru cîmp este:

$$\vec{C} = k\frac{\eta_1}{r^3}\vec{r}$$

Această relație arată că η_1 produce un cîmp, iar prima ne spune că (η_2) simte acest cîmp.

Pentru cîmpul gravitațional $\vec{C} \sim \vec{\Gamma}$

Pentru cîmpul electric $\vec{C} \sim \vec{E}$

Pentru cîmpul magnetic $\vec{C} \sim \vec{H}$ sau $\vec{B} = \mu \vec{H}; \vec{F} \perp \vec{B}$ și $\vec{F} \parallel \vec{E}$

unde μ caracterizează substanța.

Se știe că :

$$B = \frac{F}{Il}$$

deci masa magnetică ar fi reprezentată prin $I\,l$.

În studiul fizicii avem nevoie de a stabili, care este răspunsul corpurilor la existența cîmpului. Aceasta ne dă ecuațiile mișcării : $s = s(t)$

Dacă avem mai multe obiecte care crează un cîmp, atunci pentru a obține cîmpul total, adunăm pur și simplu vectorii :

$$\vec{C} = \vec{C}_1 + \vec{C}_2 + \vec{C}_3 + \ldots + \vec{C}_n$$

Această relație exprimă principiul de suprapunere a cîmpurilor.

Magnetismul fiind un efect relativist, cîmpul magnetic nu se poate caracteriza fără mișcarea sarcinilor electrice.

Dacă sarcina q se mișcă în cîmpul magnetic, în absența cîmpului electric, avem :

$$\vec{F} = c\,\vec{v} \times \vec{B}$$

care se cunoaște sub denumire de forță lorentziană. În orice punct direcția forței cît și mărimea ei depinde de direcția mișcării. $\vec{F}$ este perpendicular pe planul format de $\vec{v}$ și $\vec{B}$.

Dacă există și cîmp electric, atunci cînd sarcina se mișcă cu viteza v, forța care acționează asupra ei depinde de poziția sarcinii respective, de viteza v , de cantitatea de sarcină q și de o altă cantitate vectorială, numită inducție magnetică $\vec{B}$:

$$\vec{F} = q\,(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

ceea ce reprezintă forța electromagnetică totală. $\vec{v} \times \vec{B}$ este o componentă adițională.

Dacă sarcina se află în repaus, $v = 0$, atunci forța va fi direct proporțională cu sarcina, iar factorul de proporționalitate va fi chiar cîmpul electric. Aceasta este tratarea simplă a forței electromagnetice.

Dacă înlocuim sarcina q cu o altă sarcină, forța ce acționează asupra noii sarcini va fi proporțională cu sarcina, atîta vreme cît restul sarcinilor din spațiu nu-și modifică pozițiile sau modul de mișcare. În realitate însă fiecare sarcină exercită forțe asupra tuturor celorlalte sarcini din apropiere și poate face ca aceste sarcini să se deplaseze și astfel în unele cazuri cîmpurile se pot schimba, dacă înlocuim sarcina aleasă de noi cu alta.

Vectorul $\vec{B}$ depinde de sistemul de referință inerțial pe care-l alegem pentru specificarea vitezei sarcinior.

Cîmpul magnetic şi cîmpul electric nu sînt independente, ele formează un cîmp electromagnetic complet. Relaţia dintre cele două cîmpuri provine din principiul relativităţii. Chiar studiul electricităţii şi al magnetismului a fost acela care a condus la descoperirea de către Einstein a principiului relativităţii.

Se obţine acelaşi rezultat fizic, indiferent dacă analizăm mişcarea unei particule încărcate ce se mişcă de-a lungul unui conductor, într-un sistem de coordonate în repaus în raport cu conductorul sau într-un sistem în repaus în raport cu particula. În primul caz forţa este pur magnetică, în al doilea, ea este electrică. Este de remarcat că sarcina electrică a unei particule este independentă de starea de mişcare. Deci sarcina totală se conservă.

Spre deosebire de sarcina electrică, masa în cîmpul gravitaţional este o mărime relativistă, studiată de teoria relativităţii.

Cu mult mai puţin cunoaştem despre cîmpul nuclear, în care forţele sînt de extindere mică, ele descresc mult mai repede decît $1/r^2$. În nuclee mari ca uraniul repulsia electrică este mare (protonii se resping reciproc), echilibrul devine instabil, încît nucleul este aproape gata să se rupă din cauza forţelor eletrice repulsive. Dacă un astfel de nucleu este uşor „lovit' (excitat) cu un neutron, el se rupe.

În mecanismul fisiunii nucleare rolul atracţiei gravitaţionale este negli-

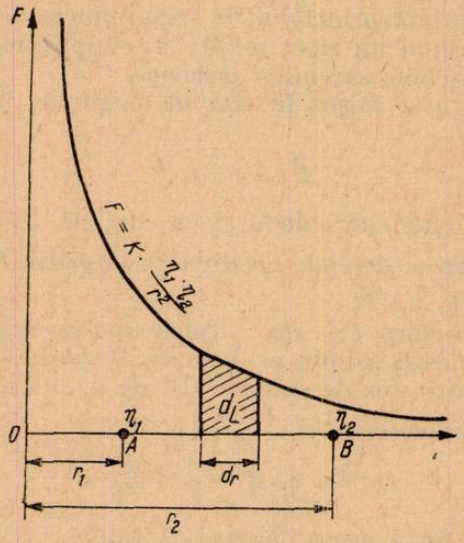


Fig. 2

jabil. Cîmpul gravitaţional este cu mult mai slab decît cîmpul electric, iar acesta mai slab decît cîmpul nuclear, despre care deocamdată cunoaştem foarte puţin.

Un rol important în studiul cîmpurilor îl joacă energia potenţială, deoarece forţele care populează cîmpul produc lucru mecanic atunci cînd deplasează un obiect aflat în cîmp. Forţa fiind variabilă, lucrul mecanic se află cu ajutorul integralei :

$$L = \int_{r_1}^{r_2} F dr = \int_{r_1}^{r_2} \frac{k\eta_1\eta_2}{r^2} dr = k\eta_1\eta_2 \int_{r_1}^{r} \frac{1}{r^2} dr = k\eta_2 \left(\frac{\eta_1}{r_1} - \frac{\eta_1}{r_2} \right)$$

În paranteză avem mărimile ce caracterizează cîmpul, de aceea introducem prin convenție :

$$V = k \frac{\eta}{r} \qquad V = f(r)$$

care este o mărime scalară, invers proporțională cu distanța, pe care o numim potențialul cîmpului. Astfel avem :

$$L = \eta (V_A - V_B)$$

η fiind obiectul etalon în cîmp.

Deci lucrul mecanic nu depinde de drumul urmat de obiect. $V_A - V_B$, reprezintă diferența de potențial și se numește tensiune:

$$U = V_A - V_B$$

Astfel avem :

$$L = \eta \ U$$

În cazul particular cîntd $r_2 \to \infty$, atunci $L = \eta \ V_A$, de unde :

$$V_A = \frac{L}{\eta}$$

ceea ce poate fi relația de definiție a potențialului, care reprezintă lucrul mecanic cheltuit pentru deplasarea etalonului, dintr-un punct la infinit.

Pentru simplificare să luăm acțiunea cîmpului numai într-o direcție și să derivăm funcția potențialului, vom obține :

$$\frac{dV}{dr} = - k \frac{\eta}{r^2} = - C$$

Exemplu : în fig. 2 $V_1 - V_2 = - \int_{r_2}^{r_1} C dr = \int_{r_1}^{r_2} C \, dr$

relație ce se numește gradient, care dă o nouă interpretare cîmpului. Cîmpul este gradientul negativ al căderii forței potențiale :

$$E = - \text{grad } V$$

Acest mod de prezentare a cîmpului are avantajul că potențialul este o mărime scalară. Fiecărui punct al cîmpului, de coordonate (x, y, z), i se asociază o singură valoare a lui V, pe cînd cîmpul $\vec{C}$ fiind vector se consideră dat prin componentele lui ortogonale C_x, C_y, C_z .

Suprafețele pe care fiecare punct are același potențial, sînt suprafețe echipotențiale. În cîmpul gravitațional aceste suprafețe sînt suprafețe sferice. Asemenea suprafețe obținem și în cîmpul electric. Dacă sarcinile nu sînt punctiforme, atunci suprafețele echipotențiale sînt suprafețe de formă generală, de ex. fig. 3.

Dacă un obiect se deplasează pe o asemenea suprafață, lucrul mecanic efectuat este zero.

Este semnificativ că suprafața fiecărui conductor este o suprafață echipotențială. Deci vectorul $\vec{E}$ este perpendicular pe suprafața conductorului.

Se deduce uşor că în cîmpul electrostatic densitatea superficială a sarcinilor $\frac{Q}{S}$, este proporţională cu curbura suprafeţei.

În interiorul conductorului intensitatea cîmpului este zero. Dacă nu ar fi aşa, atunci s-ar produce electrizare prin influenţă. Apoi, rezultă că valoarea potenţialului este constantă şi în interiorul conductorului:

$$E = \frac{V_{supr} - V_{int}}{r}, \text{ dacă } E = 0 \rightarrow V_{supr} = V_{int}$$

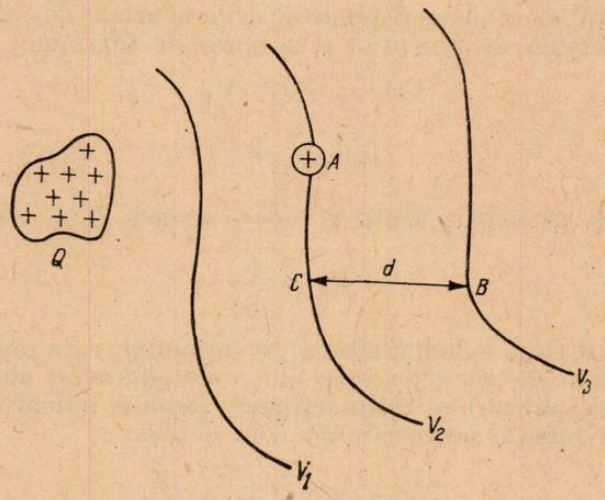


Fig. 3

Consecinţa cea mai importantă a celor de mai sus este aceea că în interiorul unui corp metalic închis, nu pot acţiona forţe electrice exterioare. Pe aceasta se bazează fenomenul de ecranare, întrebuinţat în radio şi electrotehnică (cuşca lui Faraday).

În cîmpul gravitaţional nu putem produce ecranare, ceea ce îngreunează studiul naturii acestui cîmp. Deşi cunoaştem bine legile cantitative ale mecanicii, nu cunoaştem nimic despre mecanismul gravitaţiei. Nu cunoaştem ce este gravitaţia. Analogiile dintre cîmpul gravitaţional şi cîmpul electric sînt numai formale. Poate că totuşi cele două cîmpuri sînt mai strîns legate decît credem.

Este interesant că raportul dintre atracţia gravitaţională şi respingerea electrică dintre doi electroni este 1/4, 17.10^{42} (se poate verifica prin calcule). Raportul este independent de distanţă şi reprezintă o constantă fundamentală a naturii. Masele care produc cîmpul gravitaţional sînt numai de un fel, ele nu au semn ca sarcinile electrice? Oare nu există undeva în univers masă de sens opus?

Gravitaţia mai are o trăsătură interesantă. Pentru corpurile în cădere liberă cîmpul se anulează. Această anulare locală a cîmpului gravitaţional a atras atenţia lui Einstein în studiul gravitaţiei.

Se cunoaşte că într-un cîmp gravitaţional: $F = ma$, care exprimă legea a doua lui Newton. Fizica însă deosebeşte două feluri de mase: masa

inertă și masa grea. Aceste două mase s-au dovedit a fi echivalente (experiența lui Eötvös). Pe de altă parte Einstein a demonstrat echivalența forței gravitaționale cu forța inertă. În prima figurează masa grea, iar în a doua masa inertă. Echivalența între masa grea și cea inertă face ca un cîmp gravitațional să poată fi înlocuit cu un sistem neinerțial, adică cu un sistem accelerat față de un alt sistem. Forțele în acest sistem se comportă ca și forțele în cîmpul gravitațional și nici o experiență nu va putea pune în evidență dacă avem de a face cu un cîmp gravitațional sau ne aflăm într-un sistem neinerțial. Acesta se numește principiul echivalenței. Forțele provenite din masa inertă se mai numesc și pseudoforțe. O astfel de forță este și forța Coriolis, studiată în geografia fizică. Cu toate acestea nu ar fi just să considerăm gravitația ca fiind o pseudoforță și să spunem că sîntem cu toții trași în jos fiindcă ne mișcăm accelerat în sus. Einstein a găsit că forța gravitațională poate fi considerată o pseudo-forță doar într-un singur punct, la un moment dat, și a fost condus de aceste considerații să sugereze că geometria lumii e mai complicată decît geometria euclidiană. Spațiul fizic este funcție de distribuția de masă. Spațiul poate fi în anumite puncte hiperbolic, eliptic și numai în caz particular, euclidian (suprafața cu curbura zero). Studiul cîmpului gravitațional a fost succesul cel mai strălucit al geometriei neeuclidiene. Mișcarea în acest spațiu a unui punct material liber e funcție de structura spațiului (distribuția maselor sau a sarcinilor). Punctul material se mișcă pe așa zise geodezice ale acestui spațiu. Geodezicele sînt liniile cele mai scurte între două puncte și se echivalează cu dreptele în geometria euclidiană. Fizica a formulat această comportare a punctului material într-un cîmp, în așa zisul „principiu al minimei acțiuni". După acest principiu legea lui Newton : $F = ma$, se mai poate formula astfel : diferența dintre energia cinetică medie și energie potențială medie este minimă pentru drumul punctului material ce se deplasează dintr-un punct în altul al unei geodezice. Structura spațiului este intuită de deviația luminii în cîmpul gravitațional (experimental demonstrată), care este cea mai grăitoare dovadă a teoriei gravitaționale a lui Einstein (teoria relativității generalizate).

Fizica a stabilit că interacțiunea între cîmpuri nu se produce instantaneu așa cum s-a crezut înainte (actio in distans), ci se produce din aproape, în aproape. Între două sarcini electrice (două particule încărcate), interacțiunea este transportată de cîmpul electromagnetic, căruia îi corespunde particula γ, adică fotonul, care este considerat cuanta de cîmp electromagnetic . Problema se poate pune și invers : particulelor elementare li se pot asocia cîmpurile cuantice corespunzătoare. Astfel cuantei particulelor încărcate ca, electroni (pozitroni), îi va corespunde cîmpul electronopozitronic. Deci interacțiunea electromagnetică dintre sarcini este de fapt interacțiunea dintre două cîmpuri, dintre cîmpul electronopozitronic și cîmpul electromagnetic. Particulele încărcate emit, respectiv absorb cuante γ, care mijlocesc interacțiunea dintre ele. Interacțiunea electromagnetică corespunde forțelor coulombiene.

Asemenea mecanism se poate aplica și la interacțiunea nucleară, unde cuantele cîmpului sînt mezonii π^+, π^-, π^0,, care la început au fost numai particule ipotetice.

Mecanismul cuantic al interacțiunii ne sugerează o definiție scurtă și intuitivă a cîmpurilor de forță. Astfel putem spune : cîmpul este suportul interacțiunii.

Cîmpurile de forță sînt de origină materială și sînt a doua formă a materiei (substanță și cîmp).

Se presupune că mecanismul explicat mai sus ar fi acceptabil și pentru cîmpul gravitațional. Pentru justificarea acestui mecanism trebuie să presupunem existența cuantei cîmpului gravitațional. Această cuantă ipotetică se numește graviton. Gravitonul încă nu a fost identificat, deci nu cunoaștem nici viteza lui de propagare. Posibil să aibă viteză mai mare decît lumina. Atunci însă, teoria relativității va necesită unele modificări. Deși viața noastră este legată în fiecare moment de gravitație, iar manifestările gravitației au fost puse în evidență, totuși despre natura acestui cîmp cunoaștem cel mai puțin. Gravitonul pînă în prezent rămîne o particulă ipotetică, cum a fost și mezonul. Aceasta rămîne un obiect de cercetare în fizică, căci este posibil ca descoperirea gravitonului să aducă multe surprize.

OBSERVAȚII ASUPRA PREDĂRII PARTICULELOR ELEMENTARE LA ANUL IV DE LICEU

Prof. *MEZINU MIHAI*, Cîmpulung Moldovenesc

Particulele elementare constituie un domeniu atrăgător al fizicii viitorului și de aceea trebuie actualizat; în plus noțiunile și fenomenele caracteristice particulelor elementare se pretează la interpretări filozofice interesante și eficace în ce privește înarmarea elevilor cu bazele filozofiei marxiste. Din aceste motive sînt necesare unele detalii suplimentare actualului manual de fizică pentru anul IV de liceu.

1. Fenomenul de „anihilare" nu poate fi interpretat, așa cum au făcut unii fizicieni idealiști, în sensul dispariției materiei, deci a contrazicerii caracterului indestructibil al acesteia. De fapt nu se anihilează nimic; dispare masa de repaus a perechii particulă — antiparticulă, dar ea se transformă în masa de mișcare a fotonilor generați, astfel încît, în urma procesului, masa totală rămîne constantă. Procesul „anihilării" confirmă strălucit unitatea celor două forme de existență a materiei, substanța și cîmpul; ori trecerea de la o formă de existență a materiei la alta nu înseamnă dispariția acesteia.

2. Dualitatea undă-corpuscul, admisă inițial pentru lumină, se extinde la toate particulele elementare. Dovada incontestabilă a acestui fapt o constituie experiențele de difracție, prin reflexie pe suprafețe cristaline, a fasciculelor de electroni (Davisson și Germer 1927), neutroni, experiențe ce au condus la metode noi de studiu în fizica corpului solid.

Unda de Broglie, asociată particulei, cauzează imposibilitatea precizării exacte a dimensiunii și locului ocupat, la un moment dat, de aceasta. Fiecărei unde de Broglie i se asociază, în mecanica cuantică, o funcție de undă $\psi(x, y, z, t)$; pătratul modulului acesteia determină probabilitatea ca particula să se găsească, la momentul t, în locul de coordonate x, y, z.

3. Existența antiparticulelor obligă acceptarea noțiunii de antimaterie, abstractă deocamdată, deoarece nici o experiență, sau nici un fenomen natural, n-au pus-o în evidență. Relativ la antiparticule se pot

face referiri asupra semnului masei lor, comparativ cu semnul masei particulelor. În expresia forței de atracție gravitațională dintre două particule :

$$\vec{F} = - K \frac{m_p m_{p'}}{r^3} \vec{r}$$

masele m_p, m'_p sînt convențional pozitive, iar semnul (—) are semnificația atracției. În cazul cînd s-ar considera interacțiunea particulă-antiparticulă, sînt posibile două cazuri :

a.) antiparticula are masă pozitivă, iar interacțiunea are loc tot în sensul atracției ;

b) antiparticula are masă negativă, iar interacțiunea are loc în sensul respingerii :

$$\vec{F} = K \frac{m_p m_a}{r^3} \vec{r}$$

în care m_p și m_a sînt masele particulei, respectiv antiparticulei.

O experiență de deviere în cîmp gravitațional ar confirma semnul pozitiv sau negativ al masei antiparticulelor, dar nu poate fi realizată, date fiind energiile (vitezele) foarte mari (apropiate de viteza luminii) la care apar acestea ; într-o instalație lungă de 3 km (!) antiparticula ar fi deviată vertical cu 10^{-7} cm, deplasare nemăsurabilă datorită micimii sale. Ar apare ca soluție reducerea vitezelor antiparticulelor la traversarea unor substanțe moderatoare, dar deocamdată sînt cunoscute numai corpuri materiale, formate din particule, iar procesele de anihilare duc la dispariția antiparticulelor care le străbat. Nu poate fi precizat, deci, semnul masei antiparticulelor, comparativ cu cel al particulelor.

Forța de interacțiune gravitațională are valori cu atît mai mari cu cît masele ce interacționează sînt mai mari, deci discuția devine mai interesantă în cazul existenței în univers a corpurilor antimateriale. Dacă masa acestora ar fi negativă, respingerea lor cu corpurile materiale, de genul constituienților galaxiei noastre, le-ar situa la polul opus al universului. Astfel universul ar apare simetric, avînd la un pol corpuri materiale iar la celălalt, corpuri antimateriale. O asemenea structură simetrică apare verosimilă, dată fiind valabilitatea simetriei în structurile naturale cunoscute. Dar prezența în univers a corpurilor antimateriale ar însemna și prezența unor fluxuri de antiparticule, emise de acestea, iar întîlnirea lor cu particule ar produce, prin anihilare, radiații Γ, care nu sînt prezente, însă, în radiația cosmică. Existența antimateriei în univers rămîne, deocamdată, sub semnul întrebării.

4. Radiația cosmică este o veritabilă rezervă naturală de particule elementare. Faptul că sosește în atmosferă din cele mai diverse direcții, ziua și noaptea, înlătură posibilitatea originei exclusiv solare a acesteia.

În cîmpul magnetic terestru are loc devierea particulelor electrice constituente ale radiației cosmice, pe direcția polilor și apariția, în aceste regiuni, ca urmare a fenomenelor de excitare a atomilor de gaz rarefiat, a aurorelor polare.

Studiul radiației cosmice la mari înălțimi poate aduce informații noi asupra proceselor ce au loc în univers, implicit asupra structurii acestuia. Nu întîmplător el constituie unul din obiectivele esențiale ale zborurilor cosmice. Dintre componentele radiației cosmice, cea neutrinică are

importanță primordială, dată fiind puterea de pătrundere fantastic de mare pe care o posedă. Studiul ei va duce la sondarea adîncimilor universului; astrofizica neutrinică va da rezolvarea multor probleme de cosmologie, formulînd în același timp altele noi.

5. Caracterul inepuizabil al structurii materiei apare evident, prezentînd în ordine cronologică descoperirea particulelor elementare constituente ale acesteia, lăsînd deschis tabloul de clasificare al lor și specificînd relativitatea noțiunii de „elementaritate". În ultimii ani savanții evită folosirea cuvîntului „elementar", referitor la particule. Structura particulei nu este concepută ca și cum ar fi constituită din subparticule, ci ca o instabilitate determinată de toate interacțiunile (mijlocite de cîmpurile asociate particulei) dezintegrările și generările, la care aceasta participă, procese care la rîndul lor sînt determinate de structura particulei; probabil numai puncte de vedere noi vor elucida problema complicată a structurii particulelor „elementare").

BIBLIOGRAFIE

1. *George Gamow*: „Treizeci de ani care au zguduit fizica" Ed. Științifică, București 1969.
2. *George Gamow*: „Biografia fizicii" — Ed. Științifică București 1971.
3. *Richard P. Feynmann*: „Fizica modernă" — Vol. III. Ed. tehnică, București 1970.
4. *T. Torö*: „Neutrinul și rolul lui în fizică, astronomie și cosmologie" — Ed. Enciclopedică Română — București 1969.
5. *R. V. Deutsch*: „Fizica" — Ed. Did. și Ped. — București 1970.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

CĂTRE COLABORATORII NOȘTRI

Revista de Fizică și Chimie seria A publică articole de informare științifică pentru profesori, articole de metodică privind abordarea unor teme mai dificile prevăzute în programa de învățămînt și manuale, note asupra unor lucrări de laborator și asupra aparaturii de laborator, biografii ale marilor oameni de știință, noutăți științifice, materiale comunicate la consfătuirile și simpozioanele S. S. F. C., știri din viața Societății de Științe Fizice și Chimice.

Începînd cu anul 1972 în R. F. C. A. vor apare următoarele tipuri de materiale :

— articole consulatații pentru examenele de definitivat și de grad (care vor constitui o bibliografie utilă în pregătirea candidaților la aceste examene).

— articole cuprinzînd teme pentru clasele speciale de fizică și chimie.

— exemple de lecții moderne de fizică și chimie.

— o selecție din prelegerile ținute la cursurile de vară pentru profesori organizate de S. S. F. C. în colaborare cu Ministerul Învățămîntului, precum și din cursurile de specialitate ținute în cadrul Universității Populare, București,

— recenzii de cărți nou apărute.

Avînd în vedere utilitatea R. F. C. A. în ridicarea calificării cadrelor didactice ar fi de dorit ca toți profesorii de specialitate să se aboneze la Revista de fizică și chimie. Costul unui abonament pe un an este de 36 lei (seria A),

În ceea ce privește colaborarea la R. C. F seria A și B, cu articole și probleme, în primele numere pe anul 1972 va apare o tematică a revistelor, Colectivul de redacție așteaptă colaborarea profesorilor de specialitate cu articole care să se încadreze în tematica stabilită, precum și sugestii și observații asupra acestei tematici.

Institutele de perfecționare a cadrelor didactice vor lua în considerație activitatea profesorilor în cadrul S. S. F. C. prin publicarea de articole și probleme în Revistele Societății. Aceasta este considerată ca o activitate metodică cultural-științifică și este avută în vedere printre condițiile de acordare a gradelor didactice.

I. P Informația — c. 2849

Index 43 459

Lei 3

SOCIETATEA DE ȘTIINȚE FIZICE ȘI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista DE FIZICĂ ȘI CHIMIE

SERIA A
VOLUMUL VIII

12

DECEMBRIE 1971

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE

STR. NUFERILOR 23, SECTORUL 7 BUCUREȘTI—46. TELEFON 16.42.86

SUMAR

Pag.

Stud. *Radu Paul* și *Friederich Glatz*, Inst. Polit. București

1. Combinații complexe — catalizatori de hidrogenare 441

Prof. *Szöcs Piroska*, Tg. Secuiesc

2. Utilizarea emailului ca material anticoroziv 448

Prof. *Constantin Ceacâr* și *Ion Popa*, București

3. Circuite integrate 453

Cercet. principal *Iunian Chelu*, Inst. științe ped. București

4. Concursul de fizică verifică formația participanților 461

Prof. *Ștefan Erdei*, Săcuieni

5. Folosirea mijloacelor vizuale moderne și clasice în predarea fizicii 463

Asistent. *Stana Rusenescu*, București

6. Metode de determinare a vîscozității lichidelor 468

Prof. *Leontina Petrescu*, Turnu Măgurele

7. Proiecția stroboscopică 469

Fizician *Octavian Iacob*, București

8. Trusa pentru studiul mișcării de rotație a corpului solid. 474
9. Sumarul anului VIII — 1971 479

COMITETUL DE REDACȚIE

Constantin D. Albu, conf. univ.; **Teodor Bohățiel**, lector univ.; **Simion Bulgărea**, prof. **Maria Codreanu** prof.; **Andra Körner**, redactor; **Nicole Martalogu**, conf. univ. **Eleonora Mihul**, cercetător; **Ion C. Moisil**, conf. univ.; **Alice Negoescu**, prof. **Ion C. Petrea**, conf. univ.; **Victor Sahini**, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România); **Elena Teodoru**, prof. redactor șef

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

Seria A

Anul VIII Nr. 12 decembrie 1971

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

COMBINAŢII COMPLEXE – CATALIZATORI DE HIDROGENARE

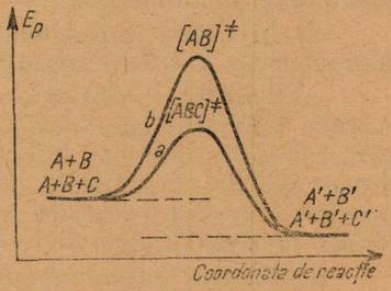
(extras din lucrarea prezentată la Sesiunea cercurilor ştiinţifice studenţeşti, aprilie 1971 şi distinsă cu premiul III în cadrul cercului de Chimie anorganică şi analitică).

Studenţii *RADU PAUL, FRIEDERICH GLATZ*, Chimie Industrială.

Studiul relaţiei dintre combinaţiile complexe ce conţin ca ligand ionul de hidrogen şi reacţiile de hidrogenare catalitică prezintă un interes deosebit, dat fiind efectul catalitic al acestor combinaţii complexe asupra reacţiilor de hidrogenare. Ulterior s-a constatat că şi alte sisteme de complecşi pot cataliza reacţii de hidrogenare.

Efectul catalizatorilor în reacţiile catalitice este, evident, mărirea vitezei de reacţie. Într-un mecanism trimolecular acest lucru este ilustrat în diagrama 1. [1]. Curba b redă profilul energetic al reacţiei necatalizate, mult mai ridicat decît al reacţiei catalizate, reprezentată prin curba a.

Reacţiile catalitice se pot desfăşura într-un sistem omogen sau eterogen.



La baza studiului reacţiilor eterogene stă teoria lui Langmuir referitoare la adsorbţia fizică. Forţele care intervin în cadrul procesului de adsorbţie fizică sînt forţe van der Walls. În acest proces se ajunge la un echilibru dinamic, marcat de momentul în care viteza de adsorbţie egalează pe cea de evaporare. Dacă într-un sistem dat, θ este porţiunea din suprafaţă acoperită cu un adsorbit şi ν este viteza evaporării cînd întreaga suprafaţă este acoperită, produsul $\nu\,\theta$ este viteza de evaporare efectivă. Dacă, în continuare, μ este numărul de molecule de adsorbit care lovesc suprafaţa de separaţie şi α partea de molecule care au cu suprafaţa ciocniri neelastice, atunci $\alpha\mu\,(1-\theta)$ este viteza de condensare. La echilibru avem egalitatea :

$$\nu\theta = \alpha\mu\,(1-\theta), \tag{1}$$

care, după transformări, şi ţinînd seama că μ este proporţional cu p (presiunea adsorbitului), devine :

$$\theta = \frac{kp}{1+kp} \tag{2}$$

Avînd în vedere faptul că θ se poate scrie şi ca raportul dintre volumul efectiv de adsorbit şi volumul de adsorbit necesar unei saturări a suprafeţei, $\theta = \frac{v}{v_m}$, relaţia (2) se mai poate scrie :

$$\frac{p}{v} = \frac{p}{v_m} + \frac{1}{kv_m} \qquad (3)$$

Această ultimă relaţie este relaţia liniară a lui Langmuir.

În cataliza eterogenă factorul geometric are un rol deosebit.

Cele trei teorii de bază care caută să explice rolul acestui factor sînt : teoria centrelor active a lui Taylor, teoria ansamblelor a lui Cobozev şi teoria multipleţilor a lui Balandin.

Teoria lui Taylor presupune existenţa centrelor active pe muchiile sau colţurile cristalelor, unde atomii au valenţe nesatisfăcute.

Teoria lui Cobozev, valabilă pentru catalizatori depuşi pe un suport, presupune existenţa ansamblelor active formate dintr-un anumit număr de atomi, dispuşi pe suprafeţe în formă de nivele a căror distribuţie are o valoare statistică.

Teoria lui Balandin identifică centrele active cu grupuri de atomi de la suprafaţa catalizatorului, aranjaţi într-o anumită figură geometrică a căror activitate se materializează în slăbirea legăturilor din moleculele reactanţilor şi formarea parţială de legături cu atomii multipleţilor.

Să trecem la analiza cîtorva cazuri de cataliză prin complecşi.

În procesul de hidrogenare catalitică a compuşilor nesaturaţi au fost propuse ca intermediari specii în care se stabilesc legături metal tranziţional-hidrogen. Acest lucru este justificat de : [2]

1) Proprietăţile hidrurilor complexe de a adiţiona olefine şi de a forma combinaţii alchil-metalice.

2) În multe din sistemele ce activează catalitic, în procesele de hidrogenare s-a stabilit prezenţa unei specii care conţine hidrogen.

Activitatea catalitică este în general legată de prezenţa la atomul metalic central a unor orbitale vacante (de obicei cu un grad mare de caracter „d") care pot forma cu ionul de hidrogen legături slabe prin acceptarea de electroni de la acesta. Stabilitatea acestor legături, deci implicit activitatea catalitică, este influenţată şi de natura celorlalţi liganzi prezenţi în sfera de coordinaţie a atomului central.

a) Un caz interesant şi totodată important din punct de vedere practic este reprezentat de reacţiile de hidroformilare. Sistemul, compus din săruri de cobalt, monoxid de carbon, hidrogen molecular şi substrat organic este supus unor reacţii variate. [3]

— hidroformilare : $>C=C<+CO+H_2 \rightarrow >HC-\underset{|}{C}-CH=O$

— hidrogenare : $>C=C<+H_2 \rightarrow >HC-CH<$

— homologare : $-CH_2OH + CO + 2H_2 \rightarrow -CH_2-CH_2OH + H_2O$

— hidrogenoliză : $R_2CHOH + H_2 \rightarrow R_2CH_2 + H_2O$

În condiţiile de lucru (90—200°C, 100—400 atm) se formează dicobalt octacarbonilul şi cobalt hidrocarbonilul. Ultimul este agentul de hidroge-

nare propriu-zis. Se prezintă sub forma unui lichid instabil care se descompune punînd în libertate dicobalt octacarbonil :

$$2HCo\ (CO)_4 \rightarrow H_2 + Co_2(CO)_8$$

Reacţiile de hidroformilare sau de homologare se fac pe baza oxidului de carbon cedat de dicobalt-octacarbonil : (ca exemplu am luat reacţia de hidroformilare a C_6H_{10}).

$$C_6H_{10} + Co_2\ (CO)_8 \rightleftarrows Co_2(CO)_7 \cdot C_6H_{10} + CO$$

$$Co_2\ (CO)_7 \cdot C_6H_{10} + H_2 \rightarrow Co_2\ (CO)_7 \cdot C_6H_{10} \cdot H_2$$

$$Co_2\ (CO)_7 \cdot C_6H_{10} \cdot H_2 \rightarrow C_6H_{11}CHO + Co_2\ (CO)_6$$

$$Co_2(CO)_6 + 2CO \rightarrow Co_2(CO)_8$$

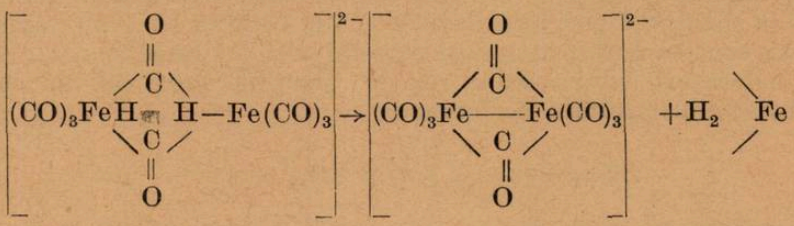
Se observă că generatorul de complex îşi păstrează în final starea de oxidare.

Viteza acestor reacţii este independentă de solvent, este mai mare pentru olefine terminale decît pentru cele internale şi este mică pentru olefinele ramificate.

b) Un catalizator mai multilateral pentru sinteze decît dicobaltoctacarbonilul este fier-pentacarbonilul, $Fe(CO)_5$. Acesta acţionează în prezenţa a mici cantităţi de NaOH. Mecanismul activităţii catalitice pare a fi următorul. [3]

$$Fe(CO)_5 + 3\ NaOH \rightarrow Na\ [HFe(CO)_4] + Na_2CO_3 + H_2O$$

Anionul fier-hidrocarbonil se stabilizează prin dimerizare cu formarea ionului $[H_2Fe(CO)_8]^{2-}$ care poate pune în libertate hidrogen molecular :



c) Interesante sînt reacţiile de cataliză omogenă care se petrec în prezenţa ionilor metalici.

Ipatief şi Calvin au arătat că în soluţie de chinolină sărurile de Cu^+ ale acizilor organici (în prezenţa ionilor Cu^{2+}) catalizează reducerea prin hidrogen a benzochinonei. S-a găsit că reacţia este omogenă, independentă de concentraţia agentului de oxidare şi că urmează legea de viteză :

Viteza $= K\ [CuA]^2 \cdot [H_2]$ unde A este anionul acidului organic. Se presupune că „despicarea" moleculei de hidrogen ar avea loc cu formarea unui dimer de hidrură, agent de reducere foarte activ.

$$2Cu^I + H_2 \rightleftarrows 2\ Cu^I\ H \text{ sau } [Cu^IH]_2$$

$$[Cu^I\ H] + Cu^{II} \xrightarrow[\text{repede}]{} 2\ Cu^I + H^+$$

Reversibilitatea primei reacţii este dovedită de capacitatea sistemului de a cataliza conversia $H_{orto} \rightarrow H_{para}$ sau de a schimba izotopul D cu un H donor în soluţie.

d) Studii interesante asupra hidrogenării catalitice omogene a aldehidelor cu catalizatori de rodiu carbonili au fost făcute de către B. Hell şi L. Marko. Pentru această reacţie ei au propus următoarea ecuaţie cinetică : [5]

$$\frac{\partial\ (\text{alcool})}{\partial t} = K\ [\text{aldehidă}] \cdot [Rh]^{1/6} [P_{H_2}]^{0.5} \cdot [P_{CO}]^{-0.3}$$

valabilă în următoarele condiţii de reacţie :

— Aldehida : 25% n — butiraldehidă dizolvată în hexan ;

— Catalizator : 3,2 atomi miligrame Rh la un mol de aldehidă sub formă de triclorură de Rh cristalizată cu trei molecule de apă $RhCl_3 \cdot 3H_2O$

— Temperatura : 160°C

— Presiunea parţială a CO : 120 atm

— Presiunea parţială a H_2 : 160 atm.

Dintre rodiu carbonilii care se presupun a exista în condiţiile noastre : $Rh_2(CO)_8$, $Rh_4(CO)_{12}$, $Rh_6(CO)_{16}$, $HRh(CO)_4$, $(Rh(CO)_2Cl)_2$ cercetările în infraroşu au dat rezultate referitoare doar la : $Rh_4(CO)_{12}$, $Rh_6(CO)_{16}$ şi Rh $Rh(CO)_2Cl_2$. Rezultatele experienţelor indică faptul că, în cazul celor doi compuşi ce n-au fost puşi în evidenţă este vorba de substanţe foarte labile şi greu de preparat.

S-a constatat de asemenea că, în condiţiile hidrogenării aldehidelor $Rh_6(CO)_{16}$ este combinaţia rodiului termodinamic stabilă. Atît procesele de reacţie ale experienţelor cinetice cît şi produsele experienţelor executate în condiţiile hidrogenării în hexan pur, conţin întotdeauna dizolvat numai $Rh_6(CO)_{16}$. Formarea $Rh_6(CO)_{16}$ are loc în cazul $RhCl_3$ şi $RhCl_3 \cdot 3\ H_2O$ ca substanţă iniţială, prin $Rh(CO)_2\ Cl_2$ şi $Rh_4(CO)_{12}$. Prima combinaţie dispare în cazul încălzirii autoclavelor la 130—140°C. La 160°C, amestecul de reacţie conţine iniţial, în acelaşi timp $Rh_4(CO)_{12}$ şi $Rh_6(CO)_{16}$, dar concentraţia dodecacarbonilului scade repede. Teoretic, între cei doi compuşi poate exista un echilibru de forma :

$$3Rh_4(CO)_{12} \underset{P}{\overset{T}{\rightleftharpoons}} 2\ Rh_6(CO)_{16} + 4\ CO$$

Catalizatorul activ în această reacţie de hidrogenare este rodiu-carbonilul monomolecular, în echilibru cu $Rh_6(CO)_{16}$ fapt indicat în ecuaţia cinetică de factorul $[Rh]^{1/6}$. Factorul $[P_{H2}]^{0.5}$ reprezintă faptul că acest rodiu carbonil conţine un singur atom de hidrogen, deci concentraţia Rh-carbonilului monomolecular este direct proporţională cu rădăcina patrată din presiunea parţială a hidrogenului. Influenţa inhibitoare a presiunii parţiale a monoxidului de carbon (exponent — 0,3) indică fenomenul foarte general în reacţiile catalizate de carbonili metalici că de fapt catalizatorul trebuie să fie un complex nesaturat cu CO.

Se presupune că reacţia de hidrogenare catalitică omogenă a aldehidelor cu Rh — carbonili ar avea următorul mecanism?

A. Formarea catalizatorului :

$$2\ Rh_6\ (CO)_{16} + 4\ CO \rightleftarrows 3\ Rh_4(CO)_{12}$$

$$Rh_4(CO)_{12} + 2\ H_2 \rightleftarrows 4\ HRh(CO)_3$$

$$HRh(CO)_3 + CO \rightleftarrows HRh(CO)_4$$

B. Reacţia catalitică :

$$HRh(CO)_3 + R-CH=O \rightleftarrows R-CH=O \downarrow HRh(CO)_3$$

$$RCH=O \xrightarrow[\text{lent}]{} RCH_2O-Rh(CO)_3 \rightleftarrows R-CH_2-O-Rh(CO)_4 \xrightarrow{H_2} RCH_2OH + HRh(CO)_3$$

$$RCH=O \downarrow HRh(CO)_3$$

Etapa determinantă a timpului de reacţie este reacţia hidrurii de rodiu — tricarbonil cu aldehida, cu formarea unui complex prin legătura σ Rh-oxigen. Hidrogenoliza acestei legături cu formare de alcool şi $HRh(CO)_3$ este presupusă a fi foarte rapidă, ecuaţia cinetică putînd fi deci scrisă :

$$\frac{\delta\ (\text{alcool})}{\delta t} = K\,[\text{aldehidă}] \cdot [\text{catalizator}], \text{ unde :}$$

$$[\text{catalizator}] = [Rh]^{1/6} \cdot [P_{H2}]^{0,5} \cdot [P_{CO}]^{-0,3}$$

Precizăm că rolul inhibitor al presiunii parţiale a monoxidului de carbon este datorat reacţiei secundare :

$$HRh(CO)_3 + CO = HRh(CO)_4$$

Exponentul —0,3 determinat în mod experimental, indică un echilibru între $HRh(CO)_3$, $HRh(CO)_4$, echilibru care nu este deplasat puternic în vre-un sens, ambii rodiu-carbonili găsindu-se într-o concentraţie foarte mică, aproximativ egală, în reacţie.

c) Interesante proprietăţi catalitice prezintă borurile de nichel, platină şi paladiu [6], [7].

Prepararea catalizatorilor de borură de nichel din săruri metalice corespunzătoare şi hidroboraţi alcalini a fost pusă la punct de către Schlesinger. Pentru măsurarea activităţii acestor catalizatori se determină cantitatea de hidrochinonă care rezultă dintr-un amestec de hidrogen şi chinonă în prezenţa unui mililitru de catalizator.

Catalizatorul de borură de nichel se prezintă sub forma unui amestec de tetrahidroboraţi alcalini şi diferite săruri de nichel (clorura, acetat, formiat) într-un anumit raport molar, după cum arată tabelul de mai jos :

Sarea de nichel	Raportul molar dintre sarea de nichel şi hidroboratul alcaliu	Activitatea în mlH_2/min.
Clorura	1 : 3	5,66
Acetat	1 : 3	4,30
Sulfat	1 : 2	2,20
Sulfat	1 : 3	4,25
Sulfat	1 : 4	4,35
Sulfat	1 : 6	4,30
Formiat	1 : 3	3,50
Azotat	1 : 9—12	0

Factorii de care depinde activitatea catalitică a acestor catalizatori sînt :

1. Anionul sării de nichel. La hidrogenarea eugenolului în faza lichidă, cel mai activ catalizator este clorura de nichel. Urmează apoi acetatul, sulfatul şi formiatul. Activitatea acestor catalizatori la hidrogenarea benzaldehidei, nitrobenzenului şi cianurii de difenil este mică. Azotatul de nichel nu poate fi utilizat pentru obţinerea catalizatorilor de hidrogenare deoarece gruparea amoniu, care rezultă este otrăvitoare.

2) Raportul dintre sarea de nichel şi hidroboraţii alcalini. Raportul optim este 1 : 3.

3) Activitatea nu depinde de temperatură.

4) Activitatea catalizatorului depinde de promotorul utilizat. Cel mai activ (22 ml $H/_2$min), este cel cu un conţinut de 10% Cr. Acesta are o activitate de 5,5 ori mai mare decît a borurii de nichel curate şi chiar mai mare decît e Ni-Rane (13 ml H_2/mn). Cu excepţia cuprului, care acţionează ca inhibitor, majoritatea metalelor încercate au o acţiune promotoare, însă, în raport cu

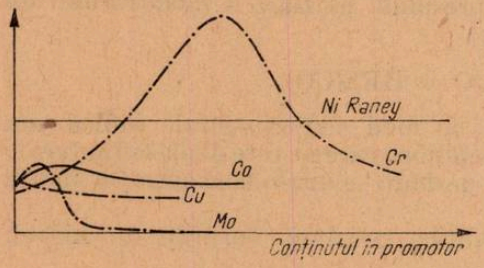


Fig. 2

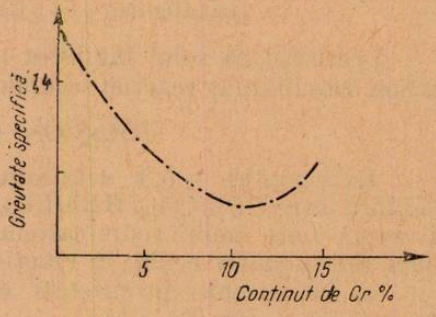


Fig. 3

cromul aceasta este neînsemnată. (figura 2). Figura 3 reprezintă variaţia greutăţii specifice a catalizatorului de borură de nichel în funcţie de conţinutul de crom. Catalizatorul cu activitate maximă (conţinut 10% Cr) are greutatea specifică cea mai mică ceea ce arată că acest conţinut de crom conferă catalizatorului o porozitate maximă, respectiv o greutate specifică minimă.

S-a constatat de asemenea că Pt şi Pd măresc puţin activitatea borurii de nichel dar cu un adaos 5—5% de Pt şi Pd se poate prelungi viaţa catalizatorului astfel încît să poată fi folosit la 6—8 hidrogenări.

S-au pus în evidenţă proprietăţile selective ale acestor catalizatori stabilindu-se, de exemplu, că Ni-Raney produce hidrogenarea ciclului benzoic al 2-etil antrachinonei în timp ce catalizatorul cu promotori Mo nu produce hidrogenarea la nucleu.

În ceea ce priveşte borurile metalelor preţioase s-a constatat că activitatea borurilor de Pt şi Pd la hidrogenarea eugenolului, benzaldehidei, benzocianului şi acetofenonei este mai mare decît a metalelor simple. De asemenea viaţa acestor catalizatori este mai mare. Cea mai mică activitate s-a observat la borura de paladiu, care prezintă însă o viaţă foarte lungă putînd fi utilizată la peste 40 de hidrogenări succesive fără să-şi modifice vizibil activitatea.

S-a constatat că borurile metalelor Pt şi Pd îşi măresc activitatea dacă sînt depuse pe un suport de $BaSO_4$ şi $CaCO_3$ cu un conţinut de metal activ între 5—10%. Activitatea creşte şi în cazul borurii de nichel dar este de circa 6 ori mai mică decît a borurilor de Pt şi Pd. La depunerea pe suport, variază nu numai activitatea ci şi viaţa catalizatorilor. Astfel, borura de nichel pe cărbune activ prezintă activitate mulţumitoare chiar după 65 ore de hidrogenare.

Ne-am oprit asupra acestor boruri de metale preţioase deoarece pe lîngă importanţa teoretică prezintă şi o importanţă industrială. În primul rînd, datorită faptului că prepararea lor este deosebit de simplă şi rapidă. Se pot prepara în soluţie apoasă la o temperatură ceva mai ridicată decît temperatura camerei fără o instalaţie specială. De asemenea aceşti catalizatori, mai ales borura de nichel, manifestă o oarecare specificitate catalizînd mai ales reacţiile de saturare a legăturii C = C. Activitatea este mai mică decît în cazul nichelului — Raney (în aceleaşi condiţii). Ea poate fi urmărită utilizînd promotori de crom (figura 2). În felul acesta, însă, paralel cu creşterea vitezei de reacţie scade viaţa medie a catalizatorilor respectivi.

În unele reacţii (hidrogenarea 2 etilantrachinonei) selectivitatea unor astfel de catalizatori este mai mare decît a nichelului — Raney.

Cu asemenea catalizatori se pot hidrogena şi legături nesaturate ca H—C=O, C = O, — C≡N.

Din cele de mai sus rezultă că aceşti catalizatori au fost studiaţi amănunţit de o serie de cercetători pentru decurge din importanţa lor din punct de vedere practic. Vom da mai jos cîteva concluzii cu caracter general care se desprind din studiile existente în literatura de specialitate.

Tverdovski, Kondraşev şi Gladkova au ajuns la concluzia că, atît borura de Ni cît şi catalizatorul de borură de nichel promovată cu crom sînt amorfe.

Prepararea acestor catalizatori în soluţie apoasă a fost descrisă foarte amănunţit de Paul, Buisson şi Joseph. În linii mari ea decurge în felul următor : unei soluţii 5% clorură de nichel, la temperatura camerei şi sub agitare continuă i se adaugă timp de 20 minute soluţie 10% hidroborat de sodiu. Are loc o degajare puternică de hidrogen şi formarea unui precipitat negru şi afînat care se aglomerează prin încălzire în atmosferă de gaz inert. Acesta se transformă în catalizator de hidrogenare activ prin spălare cu apă şi etanol anhidru. Catalizatorul astfel obţinut nu este piroforic şi manifestă, în reacţiile de cataliză în mediu lichid, o activitate egală cu cea a nichelului Raney.

Influenţa promotorilor asupra catalizatorilor depuşi sau nedepuşi pe suport au fost studiate de către Adaskin şi Lebedev. De asemenea ei s-au pronunţat asupra suportului optim pentru astfel de catalizatori, ajungînd la concluzia că rezultate deosebite dau suporturile de bioxid de siliciu, oxid de aluminiu, fosfat de calciu şi fosfat de bariu. Pentru obţinerea unor astfel de catalizatori se impregnează suportul cu sarea de nichel şi sarea promotoare (în soluţie) şi apoi se reduce sistemul cu hidroboratul alcalin. Se spală apoi cu apă distilată şi alcool etilic anhidru.

Au fost studiate şi proprietăţile altor boruri decît cele de Pt, Ni, Pd. Paul şi colaboratorii descriu borura de cobalt promovată cu wolfram sau crom. Prepararea este asemănătoare cu a borurii de Ni.

După Polkovnikov şi colaboratorii, hidrogenul adsorbit la suprafaţa borurilor de metale nobile este de 40 ml/gr. Eliminarea acestui hidrogen

de pe suprafața catalizatorului se face la 120°C. Ei au stabilit că suprafața activă a borurilor de Pd, Pr, Rh este respectiv de 48, 52, 58 m^2/g. De asemenea ei au stabilit că borurile metalelor nobile sînt mai active decît carburile metalelor respective. Viața lor este de asemenea mai mare decît a carburilor și scade de la borura de Pt la cea de Rh. În urma analizei chimice s-a stabilit că formula generală a acestor catalizatori este Me_2B.

În literatura de specialitate sînt semnalate numeroase studii asupra hidrogenării catalitice, omogene sau heterogene și în prezența unor combinații ale iridiului, ruteniului [2].

Capitolul catalizei prin combinații complexe este deosebit de vast. Ne-am oprit numai asupra cîtorva exemple semnificative și în deajuns de elucidate la ora actuală.

BIBLIOGRAFIE

[1] *G. Niac, E. Schrönberger* — „Chimie fizică" vol. 3, 1970 ; pg. 429—436 ; 450—474.
[2] *P. Spacu, M. Brezeanu* — „Chimia combinațiilor complexe", 1969 ; pg. 432—438.
[3] *F. Basolo, R. Pearson* — „Mechanism of inorganic reactions". A. Study of metal complexes în solution ; New—York 1958 ; pg. 332, 342.
[4] *Bond* — „Catalysis" vol. IV 1957, vol V 1961.
[5] Acta Chim. Acad. Sci. Hung. 51 (1) 107— 16 (1968)
[6] Can. J. Chem. 46 (2) 217 — 23 (1968)
[7]. Magyar Kemikusok Lapja.

UTILIZAREA EMAILULUI CA MATERIAL ANTICOROSIV

Prof. SZOCS PIROȘKA, Tg. Secuiesc

Utilajele și construcțiile industriale vin în contact cu diverse medii chimic active ca : soluțiile unor substanțe chimice, apa,gaze industriale, atmosferă umedă.

În prezent se consideră că aproximativ 20% din producția mondială de metale se corodează, din care se pierd definitiv 10%. Aceste pierderi corespund la aproximativ 20 milioane de tone fier anual. Pierderile provocate de coroziune, calculate după costul metalului distrus prezintă însă numai o mică parte din pagubele reale. Metalul corodat se află în general sub forma unor construcții și instalații metalice, al căror cost este mult superior costului materialului din care sînt confecționate. Afară de aceste cheltuieli directe intervin și o serie de cheltuieli indirecte. În prezent se pune în mod accentuat problema combaterii coroziunii în cadrul tuturor ramurilor economiei naționale.

Principalele metode de protecție anticorosive sînt :

1. protecția suprafețelor metalice prin intermediul :
   — depunerilor metalice
   — al acoperirilor de natură organică : materiale plastice, lacuri și vopsele, unsori.
   — acoperirilor anorganice : email, strat oxidat, fosfatare, cromare.
2. micșorarea caracterului agresiv al mediilor corosive :
   — îndepărtarea oxigenului din soluții
   — utilizare inhibitorilor de coroziune

3. lărgirea protecției catodice și anodice;

4. elaborarea unor materiale de construcții noi, ca oțeluri inoxidabile, materiale plastice rezistente.

5. perfecționarea modului de construcție și de exploatare alutilajului industrial.

Deci emailarea este o metodă de protecție anticorosivă, realizată prin acoperirea suprafeței metalice cu un strat de natură anorganică.

Prin emailare se înțelege o combinație foarte aderentă între metal și un strat de acoperire anorganic de natura unei sticle speciale (adică de natură silicatică). Astfel emailarea îmbină avantajele pe care le prezintă sticla (proprietățile ei anticorosive), cu cele ale oțelului (rezistență mecanică). În afară de avantajul principal al aparatelor emailate și anume rezistența la acțiunea agenților corosivi, ele mai prezintă avantajul că nu impurifică, nu schimbă culoarea, gustul, sau mirosul produselor. Proprietățile pe care le oferă stratul de email suprafeței pe care a fost aplicat depind în egală măsură de compoziția chimică și de tehnologia de aplicare.

1. Proprietățile chimice ale acoperirilor cu email.

Dintre proprietățile emailului, importanța principală pentru industrie o prezintă rezistența lui chimică față de diferite medii corosive.

În funcție de rezistența lui față de aceste medii corosive, emailul se împarte în: emailul antiacid—rezistent la medii acide; emailul antialcalin— rezistent în medii bazice; emailul universal — rezistent în mediu acid și bazic.

Emailul cel mai cunoscut și aplicat cu succes este emailul antiacid. Emailul antiacid în afară de rezistență bună la acizi trebuie să mai posede și o oarecare rezistență față de alcalii, pentru a asigura posibilitatea de folosire a lui în domenii mai largi.

Mecanismul procesului de coroziune

Silicații din straturile superficiale ale emailului sub acțiunea mediilor apoase se hidrolizează. Din hidroliza silicaților alcalini se formează hidroxizii respectivi și silicagelul.

Acțiunea acizilor asupra emailului. Sub acțiunea acizilor hidroxizii formați se dizolvă, iar silicagelul rămîne pe suprafața stratului de acoperire Acest strat protector de silicagel încetinește în continuare procesele de distrugere. Viteza de coroziune scade astfel în timp.

Studiind viteza de coroziune a stratului de email antiacid în timp, în acid clorhidric (care este considerat că este unul dintre acizi cei mai agresivi) de două concentrații diferite: 20,4% și 10%, s-au obținut rezultatele date în diagramele 1. și 2. Din diagrame reiese: scăderea vitezei de coroziune în timp, valoarea mai ridicată a coroziunii în faza de vapori decît în faza lichidă. Acest lucru se explică prin formarea unui strat continuu de protector din silicagel în faza lichidă, și un strat discontinuu în faza gazoasă. Din acest motiv suprafețele supuse timp îndelungat acțiunii acidului clorhidric în faza lichidă au un aspect matizat uniform, iar cele supuse în faza gazoasă au un aspect al coroziunii în ciupituri (pittinguri).

Studiind rezistența la coroziune în diferite medii acide se constată că emailul este rezistent la orice acid, la temperatură pînă la 300 C° cu unele excepții, și anume: acid fluorhidric la orice temperatură și concentrație, și acidul fosforic la concentrații și temperaturi ridicate.

Studiul rezistenței la coroziune a emailului în mediu acid a fost efectuat în aparate normalizate pe plan internațional și reprezentat în figura 3. Aparatul este alcătuit dintr-un tub de sticlă (Iena, pirex)

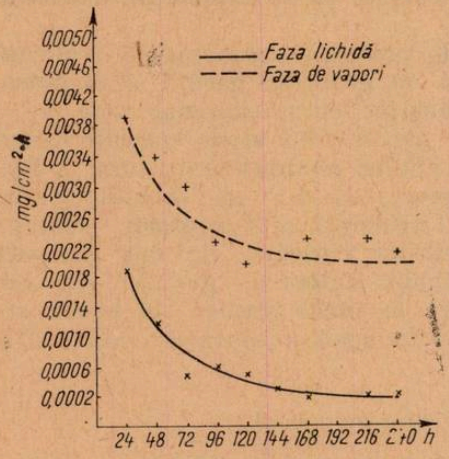


Fig. 1 : Rezistența la coroziune a emailului elaborat la U.P.R.U.C. Făgăraș. față de HCl 20,4 % la temperatura de fierbere.

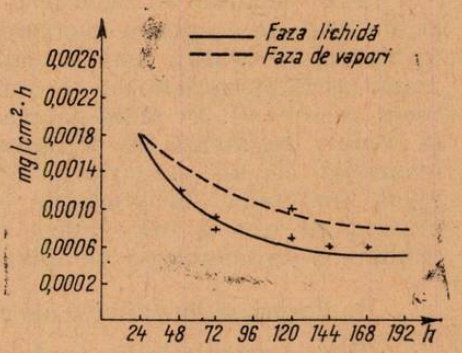


Fig. 2 : Rezistența la coroziune a emailului elaborat la U.P.R.U.C. Făgăraș față de HCl 10 % la temperatura de fierbere.

rezistent la mediu acid și la temperaturi ridicate, prevăzut cu două ștuțuri, unul pentru introducerea refrigerentului, altul pentru introducerea termometrului de control. Tubul este închis la cele două capete cu ajutorul probelor emailate. Etanșarea închiderii se realizează prin strîngerea acestui tub cu rondele puse între două plăci triunghiulare cu ajutorul șuruburilor și prin așezarea garniturilor speciale de teflon între probe și tubul de sticlă. Temperatura dorită sau fierberea acidului se realizează prin încălzirea soluției cu ajutorul unei rezistențe electrice inelare așezate în jurul tubului de sticlă. Rezistența este legată la sursa de curent prin intermediul unei rezistențe cu cursor.

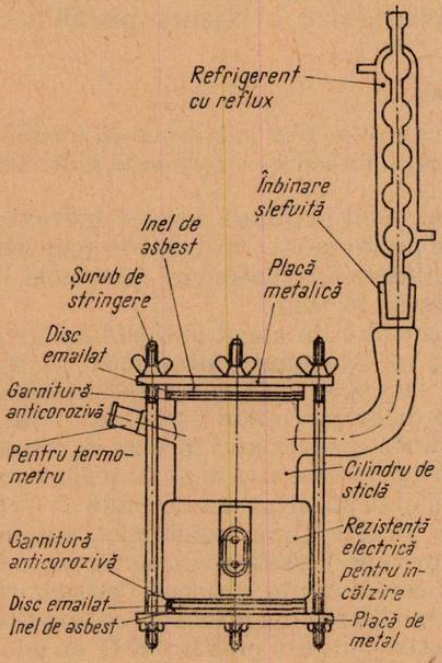


Fig. 3 : Aparat pentru determinarea rezistenței chimice față de diverși agenți corosivi

Pentru aprecierea rezistenței la coroziune se folosește măsurarea sau aprecierea vizuală a scăderii luciului și măsurarea vitezei de coroziune : $K_g = \frac{G_2 - G_1}{ST}$ în care K_g este viteza de coroziune exprimată în mg/cm²h sau g/m² zi, G_1 greutatea inițială a probei, G_2 greutatea finală a probei, S suprafața probei expuse la mediu corosiv, iar T timpul expunerii.

Acțiunea mediilor alcaline. În medii alcaline hidroliza silicaților în straturile superficiale se desfășoară la fel ca în mediu acid, dar aici nu se mai formează stratul protector de silicagel, pentru că în mediu bazic și bioxidul de siliciu trece în soluție sub formă de silicat alcalin solubil.

$$Si\,O_2 + 2\,NaOH = Na_2\,Si\,O_3 + H_2O$$

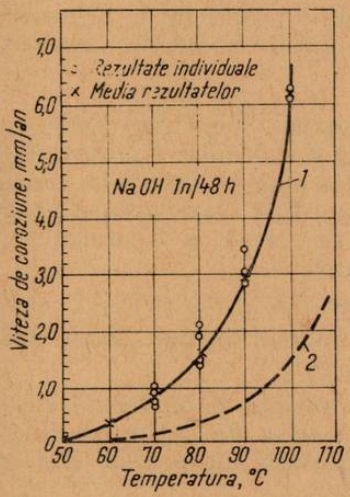


Fig. 4 : Influența temperaturii asupra vitezei de coroziune a emailului în soluție de NaOH 1n
1 Email C 73
2 Email Pfandler din literatură

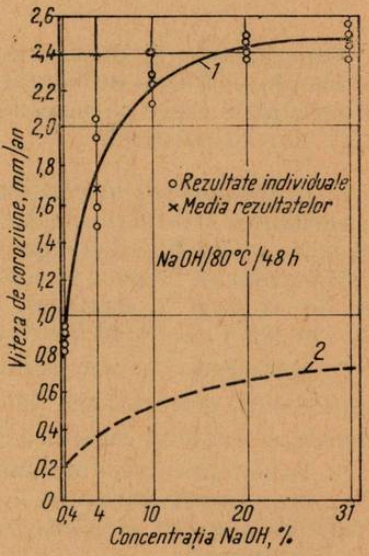


Fig. 5 : Influența concentrației soluției de NaOH asupra vitezei de coroziune a emailului
1. Email C 73
2. Email Pfandler din literatură

Deci în cazul mediilor alcaline într-adevăr se poate vorbi de o dizolvare a emailului. Procesul de dizolvare în mare parte este proporțional cu timpul și este influențat de temperatura și de concentrația soluției.

Astfel studiind viteza de coroziune a emailului în hidroxid de sodiu, timp de 48 ore în funcție de temperatură (fig. 4) și în funcție de concentrația soluției (fig. 5) se obțin următoarele rezultate: viteza de coroziune crește exponențial cu temperatura; viteza de coroziune crește logaritmic cu concentrația.

Aparatura folosită la determinarea rezistenței față de alcalii este dată în figura 6. Temperatura dorită se realizează prin punerea aparatului într-un termostat reglat la tempratura cerută.

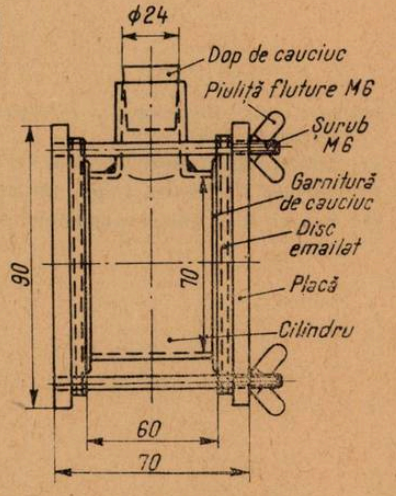


Fig. 6 : Aparat pentru determinarea rezistenței la alcalii a emailurilor sticlă antiacidă.

Este foarte interesantă comportarea emailului față de apă și mai ales față de vaporii de apă. Datorită efectului principal de dizolvare a hidroxizilor în stratul superficial, la suprafața probei se formează un film alcalin care împiedică formarea stratului protector.

2. Proprietățile fizice ale emailului și alte caracteristici.

Funcționarea și durata de funcționare a instalațiilor emailate în industria chimică este influențată nu numai de proprietățile chimice ci și de proprietățile fizice și mecanice ale stratului de protecție. Aceste proprietăți sînt următoarele:

1. Omogenitatea și continuitatea acoperirii. Este una dintre cerințele esențiale ca stratul de email să fie omogen și continuu. Numai o singură fisură poate să ducă la distrugerea instalațiilor scumpe. Controlul continuității straturilor se face cu un aparat numit porotest, care măsoară capacitatea de izolare a stratului. Tensiunea de lucru a aparatului este de 10—30.000 V. La locul fisurii apare o scînteie albă.

2. Rezistența la șoc termic. Se apreciază prin variația maximă a temperaturii, care încă nu duce la deteriorarea stratului. Rezistența la șoc termic a emailului este aproximativ de 200°C.

3. Rezistența la abraziune. Emailul prezintă o rezistență ridicată la abraziune avînd duritatea 7. Cu toate acestea de multe ori în cazul instalațiilor chimice emailate eroziunea prezintă un pericol mai mare de cît coroziunea.

4. Rezistența la șoc mecanic. Emailul fiind o masă sticloasă prezintă o rezistență mai mică față de șocuri mecanice. Din acest motiv aparatele emailate trebuie ferite de lovituri și de șocuri mecanice.

BIBLIOGRAFIE

[1] *Firoiu C., Haghmaș G., Radovici O.*, Coroziunea și protecția metalelor Editura Tehnică București 1963.

[2] *Mihalcu M.*, Coroziunea. Ed. St. București 1966.

[3] *Magyar Kémikusok* Lapja 1967/1. Budapest.

[4] *Bogdan E.*, Utilizarea emailului antiacid. Referat susținut la Consf. Inginerilor 1968, București.

CIRCUITE INTEGRATE

Prof. *CEACÂR CONSTANTIN*
Prof. *POPA ION*, București

Paralel cu tehnica electronică obișnuită care se bazează pe elemente individuale ale unui circuit, s-a dezvoltat din 1940 o altă tehnică de construire a circuitelor electronice, sub formă integrată, (compactă) într-un singur bloc și de dimensiuni extrem de mici.

Se poate considera că această tehnică a microcircuitelor a început odată cu folosirea cernelurilor conductoare depuse pe straturi ceramice. În anul 1940 s-a inventat tranzistorul și tot de atunci s-a urmărit construirea acestuia din aceeași substanță din care se construiau rezistențele sau capacitorii.

Se poate considera că orice circuit electronic este format din elemente active și elemente pasive. Elementele active fiind diodele și tranzistorii precum și alte elemente funcționale ca cristalele de cuarț, etc., iar elementele pasive fiind rezistențele și capacitorii. Elementele unui circuit simplu pot fi miniaturizate folosind 2 metode, după cum urmează :

a) cuprinse pe o plăcuță de ceramică în straturi subțiri succesive (suprapuse).

b) preparate în interiorul cristalului semiconductor, astfel încît nici o piesă să nu fie izolată, ci integrată (cuprinsă) într-un bloc unic — cu o anumită funcție.

Dezvoltarea acestei tehnici a început acum 25 de ani, prin cercetări efectuate în paralel cu cele ale tehnicii obișnuite, pentru care s-au alocat fonduri din ce în ce mai mari, fapt ce a produs schimbări profunde in industria electronică.

Inițial cercetările au fost îndreptate spre tehnica depunerii straturilor conductoare și izolatoare sub formă de pelicule pentru a forma rezistorii, capacitorii (condensatorii) precum și diodele și tranzistorii.

Această tehnică a început să se dezvolte rapid începînd cu anul 1950. Pe la jumătatea aceluiași an încep cercetările îndreptate spre construirea microcircuitelor pe bază de Si. Această metodă constă în introducerea ambelor feluri de elemente pasive și active într-un singur cristal de Si. Avantajele circuitelor integrate sînt : miniaturizarea, atît de esențială pentru tehnica militară și spațială ; siguranța și robustețea mult mai mare decît la circuitele obișnuite ; posibilitatea automatizării și deci de coborîre a prețului de cost al mîinii de lucru.

Pe lîngă aceste avantaje amintim dezavantajele esențiale :

— costul ridicat al producției ; — dificultățile de construcție de ordin practic impun folosîrea unor circuite hibride, lucru care sporește costul.

Vom vedea pe parcursul lucrării cum fiecare din cele două căi cunoscute măresc sau micșorează aceste dezavantaje.

a) *Tehnica straturilor subțiri.*

La început s-a încercat utilizarea cristalelor de Ge și Si ca strat semiconductor de bază.

Pe acestea se gravează în prealabil lăcașurile în care se așează elementele active și pasive. Dar această încercare avea un mare defect ; elementele individuale ale circuitelor trebuiau interconectate cu ajutorul unor conductoare de trecere, extrem de subțiri și fragile.

Pentru exemplificare să considerăm circuitul din figura 1 şi realizat pe baza tehnicii de mai sus, în fig. 2.

— Porţiunile AB se comportă ca nişte rezistenţe la trecerea curentului, obţinîndu-se în acest fel şi rezistenţele R_1, R_2, R_3.

— Zonele punctuale reprezintă impurităţile de tip „*n*", formînd baza.

— Zonele haşurate cuprind semiconductori de tip „*p*", formînd colectorul şi emitorul, aşezaţi în lăcaşurile gravate în cristalul de siliciu.

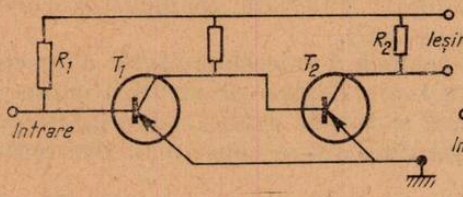


Fig. 1. Schemă de principiu.

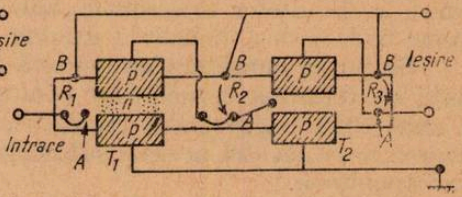


Fig. 2. Realizarea tehnică prin gravarea pe cristal.

S-a abandonat acest procedeu şi s-a introdus tehnologia planară, un procedeu de aşezare a pieselor pe un plan, pe care toate contactele dintre tranzistori, diode, rezistori, capacitori, se realizează la suprafaţa piesei prin depunerea unui metal conductor.

Construcţia unui microcircuit începe cu alegerea suportului izolator (sticlă, ceramică), şi se continuă cu depozitarea în ordine corespunzătoare, a peliculelor conductoare, rezistive sau izolatoare, în scopul formării unui bloc de elemente pasive.

Peliculele pot fi depuse în mai multe feluri : prin condensarea în vid a vaporilor unui metal conductor sau rezistor; prin metode folosite la construirea circuitelor imprimate, care constau în realizarea legăturilor prin topirea metalelor în reţele gravate, folosindu-se chiar un fascicul laser.

Alegerea stratului izolator se face în funcţie de valoarea capacitorului, după formula cunoscută :

$$C = \varepsilon \frac{S}{d}$$

Pentru valori mici ale permitivităţii electrice (ε) şi capacităţi de cîteva sute de $\mu\mu$F, se foloseşte titanatul de bariu (BaTiO), care este un oxid neferoelectric în amestec de ceramică.

Pentru valori mari (cîteva mii $\mu\mu$F) este necesară folosirea unui feroelectric.

Prin alternarea straturilor conductoare şi izolatoare se realizează un bloc capacitor cu capacitate de cîteva sute de ori mai mare decît capacitatea elementelor industriale.

Dacă este nevoie de capacităţi mai mari decît un 1μF, se pot folosi plăcuţe miniaturale de tantal. Dacă circuitul implică mai multe tipuri de capacitori (cu valori foarte diferite) se pot aşterne straturi de dielectrici, unul peste altul, formate din cîteva tipuri de materiale izolatoare. O dată suportul izolator ales, se efectuează depunerea armăturilor capacitorilor şi a conexiunilor.

După această etapă se va face depunerea peliculelor rezistive şi apoi acoperirea acestor pelicule rezistive cu o suprafaţă sticloasă, pentru a asigura o protecţie suplimentară.

Rezistorii obţinuţi în acest mod pot fi ajustaţi cu o precizie de 1% prin şlefuirea suprafeţei stropite, pînă cînd instrumentul de măsură indică valoarea nominală a rezistorului, pentru care a fost construit.

Pentru terminarea circuitului se adaugă doar tranzistorii, firele de legătură şi apoi se aşează într-o carcasă metalică (se capsulează).

Tehnica microcircuitelor bazate pe ceramică este mai flexibilă decît tehnica bazată pe siliciu. Această flexibilitate constă în posibilitatea realizării unei game de circuite.

Procesul fabricării unui microcircuit pe bază de ceramică este următorul: În primul rînd se proiectează circuitul, după care se construiesc măşti de mătase (tipare); aceste măşti se aşează pe stratul de ceramică şi se trece pe deasupra cu o vopsea specială. Aceste vopseluri conţin: materiale conductoare sau rezistive, sub formă de praf, un liant organic, un solvent volatil şi sticlă fin pisată; se înlătură masca, şi piesa astfel pregătită se arde într-un cuptor la temperatură înaltă. Pe stratul de ceramică rezultă o peliculă de material conductor sau rezistiv dispersat în sticla topită.

Este posibilă confecţionarea unei largi varietăţi de elemente pasive de circuit, prin modificarea compoziţiei vopselelor folosite. Existenţa unei mari varietăţi de vopseluri dă o mare flexibilitate acestei metode a vopselurilor. Se mai pot obţine straturi subţiri şi prin metoda depunerii în vid, care constă în condensarea substanţelor pe mască, la presiuni foarte scăzute.

Această metodă deşi este mai puţin flexibilă în alegerea materialelor conductoare sau rezistive, oferă posibilităţi mai mari de automatizare, un control şi o precizie mai mare a parametrilor peliculelor depuse.

În această metodă substanţa cea mai folosită este tantalul; fie ca electrod pentru capacităţi mari, fie ca material rezistiv, sub formă de nitrat de tantal.

Prin această metodă se obţine o precizie mai mare în ceea ce priveşte realizarea elementului de circuit.

Tehnica peliculelor subţiri poate duce la construirea unor circuite complexe mai uşor decît tehnica bazată pe siliciu.

Avantaje oferite de această tehnică sînt: marea varietate de vopseluri ce pot fi folosite; posibilitatea de adăugare a unor elemente pasive separate: bobine de şoc, transformatori; pot fi confecţionate simultan mai multe circuite prin aceeaşi tehnică; numărul interconexiunilor dintre materiale diferite este mult redus, astfel că siguranţa este mai mare decît la ansamblurile de elemente individuale; preţul de cost coboară în unele cazuri mai jos decît preţul de cost al combinaţiilor echivalente de elemente separate.

Problema cea mai dificilă în această tehnică o reprezintă construirea elementelor active: diodele şi tranzistorii.

Acestea vor trebui adăugate din afară pe suprafaţa întesată cu elemente pasive, lucru care nu este tocmai avantajos.

Diodele şi tranzistorii încasetaţi prezintă siguranţă în funcţionare însă au gabarite mari; cei necasetaţi sînt mici, dar conexiunile lor sînt fragile astfel că se micşorează siguranţa de funcţionare.

Tehnica ar fi perfectă dacă s-ar putea fabrica elemente active în acelaşi timp şi din aceleaşi materiale ca şi elementele pasive.

Aplicaţie — Fiind dat circuitul din figura 3, integrarea lui cu tehnica straturilor subţiri se face astfel:

a) în primul rînd se smălţuiesc lăcaşurile rezistenţelor R_1 şi R_2, figurate în desen prin cele 2 dreptunghiuri ale căror arii sînt proporţionale cu valorile rezistenţelor (vezi fig. 4).

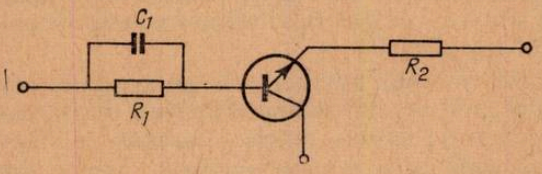


Fig. 3

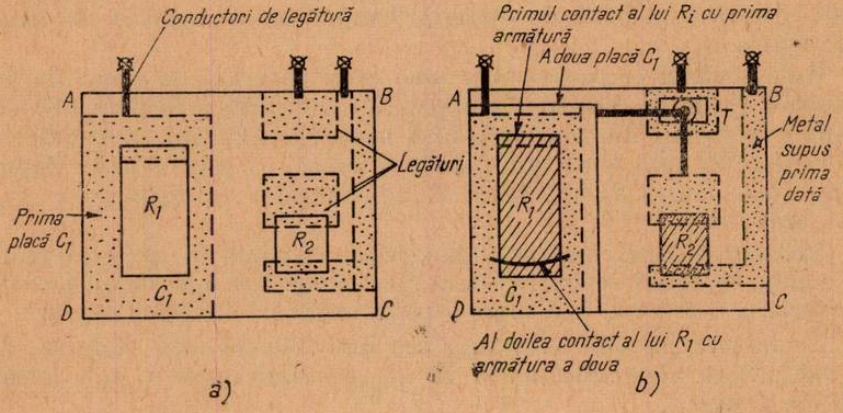


Fig. 4

b) pe o faţă a plăcii izolatoare de ceramică (A, B, C, D) se depune metalul pentru armătura inferioară a condensatorului, precum şi pentru conductoarele de legătură — suprafeţele punctuale C_1.

În partea de sus a lăcaşului rezistenţei R_1 se depune pe o mică porţiune acelaşi metal, prin care plăcuţa de tantal va face contact electric cu placa inferioară a capacitorului (condensatorului C_1).

c) după fixarea plăcuţelor rezistive de tantal se depune un strat izolator, apoi al doilea strat de metal conductor, care va constitui a doua armătură pentru capacitorul C_1 (linia continuă din desenul 4b).

Această a doua placă va face contact electric cu plăcuţa de tantal a rezistenţei R_1, în partea de jos (vezi schema 4 b).

Plăcuţa de tantal a rezistenţei R_2 va face contact electric la ambele capete cu conductorii de legătură formaţi din metalul depus prima sau a doua oară.

d) urmează ataşarea tranzistorului T şi efectuarea legăturilor: baza (în desen reprezentată printr-un cerc) se leagă cu placa superioară a condensatorului C_1, iar emitorul reprezentat prin punctul central, cu capătul rezistenţei R_2.

Colectorul reprezentat pe schemă printr-un dreptunghi face contact cu placa de metal pe care se aşează tranzistorul.

b) *Tehnica bazată pe siliciu (Si)*

Construcţia unui astfel de microcircuit începe ca şi la cealaltă metodă cu desenarea circuitului pe planşe de dimensiuni mari, după care se vor construi măşti de dimensiuni reduse, pe cale fotografică, la 1/400 din dimensiunea iniţială a desenului.

Astfel de măşti pot fi făcute din sticlă în număr mare şi deci pot folosi la fabricarea simultană a cîtorva mii de microcircuite.

Desenele de pe aceste măşti sînt trasate pe o plăcuţă de siliciu prin fotografiere astfel : se oxidează cristalul de siliciu formîndu-se un strat de SiO_2 de grosime aproximativ 10^{-3} mm ; se depune o emulsie fotosensibilă deasupra oxidului, care va fi expusă la lumina ce trece printr-o mască minusculă.

Plăcuţa este developată, înlăturîndu-se astfel emulsia pe locurile neimpresionate. Printr-o astfel de tratare în aceste locuri se dezgoleşte stratul de oxid. În locurile iluminate, emulsia rămasă formează un strat protector pentru oxidul de Si.

Se tratează cu acid florhidric (HF) suprafeţele locurilor neimpresionate pentru a se înlătura stratul de SiO_2.

Materialul fotografic fiind rezistent la acest acid, rezultă că locurile iluminate păstrează stratul de oxid.

Astfel desenul de pe masca de sticlă este gravat pe învelişul de oxid.

Deoarece stratul de oxid menţine orice impurităţi în afara semiconductorului, chiar la temperaturi înalte, prin introducerea cristalului într-un cuptor la 1300°C în care se găsesc impurităţi, acestea vor difuza în semiconductor numai prin acele arii în care oxidul a fost înlăturat.

Dacă se introduce ca impuritate P_2O_5 semiconductorul va căpăta un exces de electroni, formînd un semiconductor de tip *n*. Pentru a obţine un semiconductor de tip *p* se va introduce ca impuritate B_2O_3.

— *Condensatorii* se realizează prin alăturarea a două tipuri de conductori numite joncţiuni *p* — *n*. Capacitatea acestui sistem apare prin crearea unei benzi fără sarcină între cele două regiuni încărcate, de o parte şi de alta a joncţiunii (fig. 5).

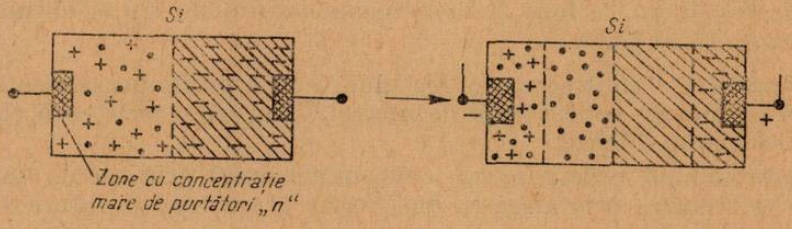


Fig. 5

Valorile acestor capacitori sînt mai mici decît 500 μμF şi sînt sensibile la temperatură.

Capacitatea depinde şi de tensiunea aplicată. Construcţia lor se realizează astfel :

a) pe aria cristalului de siliciu fără oxid se face o creştere epitaxială cu semiconductori de tip *n* (creşterea epitaxială înseamnă o prelungire a

rețelei cristaline inițiale, în mod artificial). Această creștere se poate obține prin reacția următoare :

$$SiH_4 \rightarrow Si + 2\ H_2 \uparrow$$

sau mai ales prin reducerea $SiCl_4$ sau $SiHCl_3$ (fig. 6).

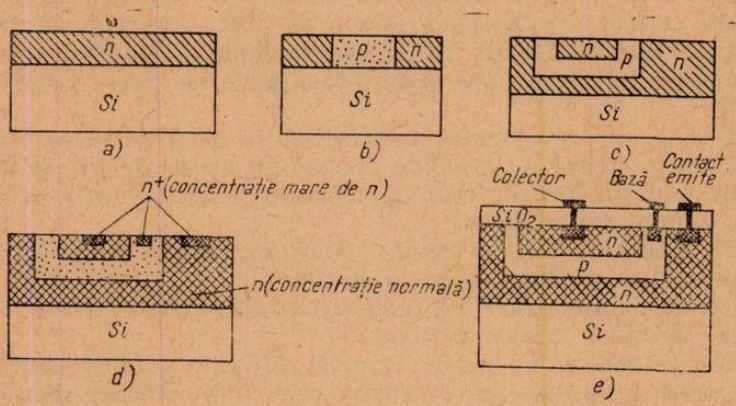


Fig. 6

b) se transformă porțiunile marginale din semiconductor de tip *n* în semiconductor de tip *p*, prin difuzie (vezi fig. 6 c).

c) se oxidează toată suprafața cristalului pentru a realiza izolarea zonelor cu conductibilitate diferită, de alte elemente de circuit (fig. 6 d).

d) se face o infuzie în semiconductorul de tip *n* cu impurități de tip *p* (fig. 6 c).

e) în semiconductorul de tip *p* astfel obținut se introduce prin difuzie o impuritate de tip *n* cu mare concentrație, care are rolul de contact între semiconductor și electrodul metalic exterior.

Același lucru se face și în semiconductorul de tip *n*, obținîndu-se astfel capacitorul dorit.

Rezistorii — La trecerea curentului electric printr-un semiconductor pur sau cu diferite concentrații de impurități apare o rezistență electrică cu valori foarte diferite.

Determinînd rezistivitatea semiconductorului prin calcul, se poate realiza un rezistor, prin alegerea unei forme geometrice în interiorul cristalului de siliciu.

Folosind aceleași procedee de creștere epitaxială, de oxidare și difuzie repetată cu impurități de diferite concentrații, se obține un rezistor reprezentat grafic pe etape în fig. 7.

Obținerea tranzistorilor — Pe figura 8 se poate urmări construcția unui tranzistor folosind aceleași procedee care au fost descrise mai sus în mod amănunțit, pe etape de fabricație.

După cum se vede în acest procedeu, este rezolvată problema elementelor active ca și a celor pasive și s-ar părea că alte greutăți nu mai avem. Totuși de la prima confruntare a circuitelor cu experiența, a apărut

un neajuns important şi anume, imposibilitatea de a se realiza izolarea diferitelor elemente de microcircuit cel puţin la fel de bine ca izolarea circuitelor formate din elemente individuale.

Într-un cristal de Si, izolarea diferitelor elemente de circuit se realizează prin joncţiuni $p - n$, care uneori produc efecte parazitare.

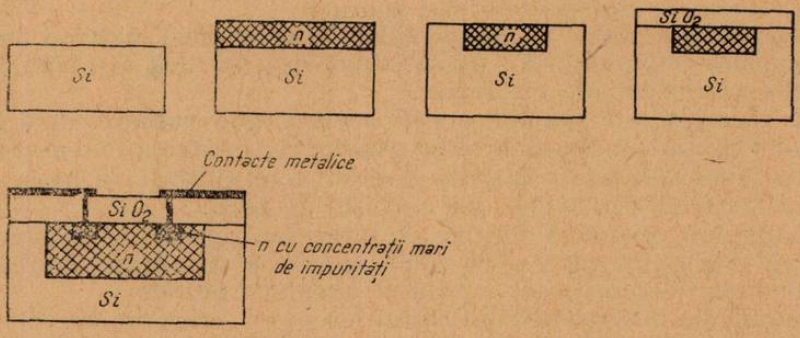


Fig. 7

Astfel, apare necesitatea complicării schemei simple iniţiale cu noi elemente, în vederea evitării efectelor nedorite. Acest fapt afectează nefavorabil performanţele microcircuitelor.

Acest dezavantaj al microcircuitelor constă în aceea că rezistorii şi capacitorii au o toleranţă de $\pm 15\%$, căci este imposibil de a difuza cu precizie în Si, materialele pentru realizarea rezistorilor şi capacitorilor.

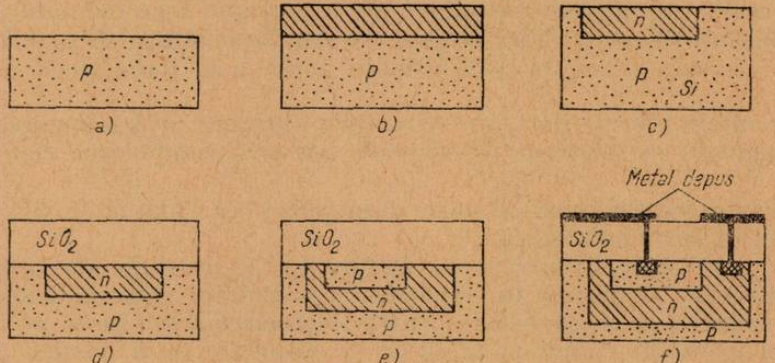


Fig. 8

Chiar fără această toleranţă rezistorii obţinuţi sînt puternic dependenţi de temperatură.

Cu atît mai mult această dependenţă creşte cu cît concentraţia impurităţilor este mai mare.

De asemenea elementele inductive sînt destul de dificil de realizat.

Circuitele cu elemente inductive folosesc fie tranzistori cu efect de cîmp, fie circuite echivalente care conţin doar rezistori şi capacitori în afară de elementele active.

Lucrările se uşurează atunci cînd avem de-a face cu circuite simple formate numai din rezistenţe şi capacităţi, aşa cum sînt circuitele logice, care nu conţin condensatori, dar necesită mai mulţi tranzistori.

Exemplu : circuitele LC la rezonanţă se înlocuiesc cu circuite RC care îndeplinesc funcţia de filtru.

Se poate folosi ca efect compensator variaţia capacităţii unei joncţiuni în funcţie de variaţia tensiunii aplicate.

Deşi microcircuitele bazate pe siliciu pun cele mai multe şi mai dificile probleme importanţa lor nu se micşorează, întrucît aici sînt şi cele mai multe posibilităţi de rezolvare.

De exemplu este posibilă uneori compensarea variaţiei unui parametru cu variaţia simultană a altor parametri : creşterea curentului din colectorul unui tranzistor, datorită creşterii temperaturii, se poate compensa cu creşterea rezistenţei din circuitul de bază.

Comparînd cele două metode de integrare, se vede că soluţia cea mai logică este combinarea celor două tehnici : a straturilor subţiri şi a microcircuitelor bazate pe Si, rezultînd circuitele hibride.

Construcţia microcircuitului hibrid începe cu cristalul de Si, unde prin difuzie se realizează tranzistorii, iar contactele lor sînt prinse în oxidul protector.

Pentru formarea rezistenţelor se vor depune straturi rezistive pe oxidul de Si.

După cum am văzut la prima metodă, rezistorii au toleranţe mult mai mici.

Pentru confecţionarea capacitorilor este nevoie de trei straturi : două din metal, pentru electrozi şi un strat izolator.

Pentru a nu mări dimensiunile microcircuitului se foloseşte chiar stratul de SiO_2 ca armătură.

Una din suprafeţele cristalului (pe o porţiune bine delimitată) constituie o armătură, iar cealaltă armătură o constituie stratul de metal depus.

Aceşti capacitori au performanţe mult mai bune decît cei din joncţiuni.

Circuitele hibride deci, sînt circuitele obţinute prin înlocuirea schemelor originale cu schemele echivalente sau prin combinarea celor două tehnici.

Chiar şi acestea prezintă unele dezavantaje ca : mai mică vizualizare a circuitului, cost mai ridicat.

Cu toate acestea rămîn în continuare marile avantaje ale integrării : miniaturizarea ; siguranţa în exploatare ; consumul mic de energie.

Densitatea de împachetare pentru microcircuitele bazate pe Si este cca 10^9 elemente de circuit pe m^3 şi de 10^7 elemente pe m^3 pentru microcircuitele din straturi subţiri.

Densitatea mare de împachetare ca şi siguranţa mare în funcţionare sînt de importanţă vitală în tehnica construcţiei de nave cosmice ; oferă maselor largi de oameni îmbunătăţiri ale obiectelor de uz imediat ca telefonul (poate deveni uşor video-telefon), televizorul în culori de dimensiuni acceptabile, automobilul cu pilot automat, maşini electrice de calcul şi altele.

CONCURSUL DE FIZICĂ VERIFICĂ FORMAȚIA PARTICIPANȚILOR

IUNIAN CHELU, I.S.P., București

Anul acesta, elevii pasionați pentru fizică din liceele noastre au fost martorii unor schimbări profunde ale concursului lor preferat.

Care este esența acestor schimbări; în ce direcție se va îndrepta în viitor concursul; cum trebuie să ne pregătim pentru a depăși noua etapă? Iată întrebări la care intenționează să răspundă rîndurile de față.

În vechea sa formă concursul de fizică cerea participanților să știe să desfășoare un volum de cunoștințe, relativ bogat, în legătură cu o temă dată; cerea să se trateze exhaustiv un subiect teoretic și să se rezolve o problemă sau două, de calcul. În acest sens, în mod treptat, an de an, se ajunsese la o tratare din ce în ce mai abundentă, cu o informație suplimentară manualului, uluitoare. Elevii se orientau spre o acumulare de cunoștințe fără sfîrșit. Cele mai bune lucrări aveau 10 pînă la 20 de pagini. Dar, chiar și în aceste condiții n-a lipsit cerința unei structurări logice a cunoștințelor, a unei sintetizări a informației sau a tratării cu precizie și rigurozitate a temei date, însă accentul cădea pe cunoaștere și mai ales pe bogăția cunoașterii.

De data aceasta accentul nu s-a mai pus pe sondarea cantității de informație însușită de elev, ci pe testarea formației lui științifice. Acum i s-a cerut să aleagă din mulțimea de cunoștințe pe care le deține pe cele necesare pentru a justifica răspunsul la trei chestiuni teoretice independente, i s-a cerut să opereze cu ele într-un scop dat și deci să dovedească gradul de funcționalitate la care se află acele cunoștințe. Li s-a cerut elevilor să pună cunoștințe din domenii diverse într-o relație de cooperare și să dovedească gradul de creativitate la care s-au ridicat. Și în sfîrșit, să emită o decizie în urma unui calcul efectuat și nu să calculeze fără o finalitate clară.

Conținutul subiectelor anului IV etapa republicană, din anul acesta, constituie o confirmare a celor de mai sus.

Primul subiect teoretic cerea să se facă o paralelă, din punct de vedere energetic, între procesele de formare a unui nucleu atomic și acela de formare a unei rețele cristaline.

Tributari vechiului sistem, unii dintre participanți au tratat subiectul prin simpla juxtapunere a descrierii procesului nuclear cu cel de solidificare, fără să extragă aspectele comune și diferențele specifice ale celor două fenomene.

Ori, în intenția organizatorilor a fost ca elevii să plece de la observația că în ambele cazuri este vorba de un sistem material, caracterizat printr-o anumită structură și prin anumite elemente care îl compun și că deosebirea dintre ele constă doar în nivelul la care se organizează materia în cadrul fiecăruia. Pe această bază se poate defini, pentru fiecare dintre ele, mărimea caracteristică — numită energie internă, mărime care variază numai în condițiile apariției unor interacțiuni ale mediului cu sistemul. Variația energiei interne, în anumite condiții, care diferă de la sistem la sistem, constituie tocmai energia de legătură care se degajă la formarea lui.

Analizînd acest subiect din punctul de vedere mai sus formulat, se poate observa cu ușurință că *accentul s-a pus pe funcționalitatea cunoștințelor și nu pe simpla lor desfășurare*. Subiectul următor cerea explicarea

scăderii intensității liniilor spectrale, dintr-o serie a hidrogenului, în măsura apropierii de limita acelei serii.

Pentru realizarea acestei explicații era necesară împletirea într-un mod ne mai întîlnit pînă acum de către elevi a cunoștințelor de spectroscopie cu cele de optică fotonică, cu cele de fizică atomică, precum și cu cele privind calculul probabilităților.

Trebuia, în esență, să se traducă în limbaj probabilistic fenomenul de tranziție a electronilor unui colectiv de atomi rarefiați aflați în diferite stări de excitație, prin asocierea unei probabilități de realizare fiecărei tranziții posibile într-un atom. Ori pentru aceasta era necesar să se știe cu precizie că intensitatea radiației este proporțională cu numărul fotonilor emiși într-o unitate de timp de către sistem.

Cunoașterea exactă și în profunziune a fenomenului în cauză și nu a unei informații colaterale imense, a fost condiția necesară alcătuirii răspunsului la acest subiect, iar aptitudinea de a coordona faptele a fost condiția suficientă.

Ultimul subiect teoretic a cerut să se explice dispersia mare a radiației β^-, la trecerea prin cîmpul magnetic, în raport cu dispersia foarte slabă a radiației α.

Mai întîi trebuia studiată comportarea purtătorilor de sarcină în cîmpul magnetic, la intrarea normală pe liniile cîmpului. De aici rezultă că pentru a se realiza traiectorii cu raze diferite e necesar ca particulele să aibă viteze inițiale diferite. În acest fel explicarea fenomenului trecea din domeniul electromagnetic, în cel nuclear. Aici trebuia căutată în mecanismul de dezintegrare a neutronilor, în distribuția neuniformă a energiei între produsele dezintegrării (electronul și antineutrino). Subiectul a pus la încercare capacitatea de a trece explicarea unui fenomen prin mai multe domenii de cercetare succesiv, de a pune în cooperare rezultatele acestor discipline.

Din această analiză rezultă că anul acesta concursul și-a propus să verifice formarea aptitudinilor intelectuale ale elevilor în principal și apoi nivelul acumulării de cunoștințe. Ar fi greșit să se înțeleagă de aici că pe viitor trebuie să consultăm alte cursuri de specialitate, sau alte culegeri de probleme pentru a fi mai bine pregătiți pentru concurs. Viitorul ne cere să adîncim mai mult cunoștințele pe care le avem, să ne perfecționăm mai mult aptitudinile, să dezvoltăm gîndirea creatoare. Cred că ar fi foarte bine dacă, în anii care vin, concursul de fizică va perfecționa noua formulă, ale cărei cerințe se înscriu pe linia perfecționării generale a învățămîntului din țara noastră.

Poate că ar fi necesar să nu se mai recurgă la organizarea concursului pe probe teoretice și de calcul, ci pe probe de aptitudini. Spre exemplu, în prima probă să se verifice în ce măsură un participant poate aprofunda și extrage esențialul dintr-un text de specialitate necunoscut, care i se dă în timpul concursului, pe un timp limitat. Se verifică astfel capacitatea și tehnica individuală de muncă.

În proba a doua, proba de aplicabilitate, s-ar putea verifica capacitatea de a aplica anumite cunoștințe, pe care candidatul este obligat să și le însușească în timpul concursului, la realizarea unui obiectiv dat. Și în sfîrșit, în cadrul probei de creativitate s-ar putea verifica cele mai subtile aptitudini, prin construirea unui dispozitiv care să servească un scop bine precizat, de a improviza o experiență necesară evidențierii unui fenomen, de a imagina o teorie pentru explicarea unor anumite fapte,

de a rezolva creator o anumită situaţie conflictuală, practică sau teoretică ş.a.

La sfîrşitul fiecărei probe să se dea premiu pentru acea aptitudine şi să fie scoşi din competiţie cei care nu pot s-o promoveze. Fizica ar deveni astfel un domeniu în care ne formăm puterile şi nu un domeniu cu care ne luptăm haotic, fără nici-o strategie.

FOLOSIREA MIJLOACELOR VIZUALE CLASICE ŞI MODERNE ÎN PREDAREA FIZICII

Prof. *ŞTEFAN ERDEI*, Săcuieni

Discuţia dintre colegi pe marginea folosirii mijloacelor audio-vizuale în procesul de învăţămînt a scos în evidenţă păreri deosebite : unii dintre ei privesc în mod sceptic folosirea acestor mijloace moderne — declarînd că „este o modă şi zvonul provocat asupra problemei este mai mare decît eficienţa ei", iar alţii susţin că folosirea lor este mai eficace la clasele mici : I—VIII, în special la obiectele de istorie, geografie şi limbi străine.

Într-adevăr rolul instructiv-educativ al mijloacelor audio-vizuale este unanim recunoscut astăzi — totuşi o parte a cadrelor didactice nu folosesc aceste mijloace moderne. Nici în acele şcoli, unde există laboratoare audio-vizuale, ele nu sînt folosite la maximum.

Modernizarea procesului instructiv-educativ este o necesitate obiectivă în cadrul fiecărui obiect de studiu. Cunoştinţele acumulate despre natură şi societate sînt în continuă creştere, deci este necesar ca omul într-un interval de timp aproximativ constant — de la 7 la 25 de ani — să-şi însuşească cunoştinţe cît mai multe, ca apoi să treacă la activitatea creatoare şi productivă, în cadrul căreia să continue acumularea cunoştinţelor. Ca urmare, scopul modernizării procesului instructiv este tocmai creşterea eficienţei transmiterii şi însuşirii cunoştinţelor, corespunzător nivelului ştiinţei şi tehnicii contemporane". În era maşinilor electronice de calculat nu putem instrui viitoarea generaţie fără mijloace tehnice moderne, care duc la creşterea vitezei acumulării cunoştinţelor de către elevi. Este necesară însă examinarea folosirii lor şi din punctul de vedere al cerinţelor educaţiei.

Cunoscînd caracteristicile generale ale mijloacelor audio-vizuale (picupul, magnetofonul, radioul, filmul, televiziunea, etc.), folosirea lor în procesul instructiv-educativ oferă următoarele [1] : a) „Un conţinut informaţional, care poate servi la lărgirea, precizarea şi adîncirea unor noţiuni" ştiinţifice şi contribuie la formarea convingerilor morale şi a concepţiei ştiinţifice despre lume, la înţelegerea mai perfectă a unor legi şi la consolidarea cunoştinţelor la orele recapitulative; b) O mare varietate de trăiri afective care pot îmbogăţi convingerile, sentimentele morale şi conduita elevilor, în special filme sonore despre viaţa şi activitatea

---

1, Dumitru Salade, Rodica Curea-Codreanu : Potenţele educative ale mijloacelor audio-vizuale — Revista Pedagogică Nr. 3/1967 pagina 15 — 16.

fizicienilor mari, sau despre condiţiile sociale ale unor descoperiri ; c) Accelerarea transmiterii şi asimilării cunoştinţelor.

În predarea fizicii numai o parte a mijloacelor audio-vizuale capătă o aplicaţie mai largă. Mijloacele audio — cu excepţia filmului sonor, care este o combinaţie a mijloacelor audio şi vizuale — nu prea găsesc aplicaţie în predarea fizicii. Latura cealaltă — mijloacele vizuale — poate avea o aplicabilitate foarte largă. Este necesară însă examinarea folosirii lor din următoarele puncte de vedere : care dintre mijloacele vizuale dau un randament mai mare, care sînt cerinţele pedagogice care trebuiesc respectate la procurarea mijloacelor vizuale, raportul dintre mijloacele vizuale moderne şi cele clasice, folosite în cadrul unei ore de predare.

Răspunsurile la aceste probleme trebuiesc date separat la fiecare dintre mijloacele vizuale (diapozitive, diafilme, film sonor).

1. Folosirea diapozitivelor în predarea fizicii.

Eficienţa pe care o oferă folosirea lor în cadrul lecţiilor curente de predare a fost deja demonstrată[2]. Au mai fost făcute şi o serie de precizări ca [3] : un diapozitiv nu trebuie să înlocuiască experienţa care poate fi executată ; nu trebuiesc proiectate desenele care pot fi şi trebuiesc executate de profesor la tablă ; desenul demonstrativ de pe tablă nu poate fi înlocuit cu proiecţia statică a acestuia ; scopul folosirii mijloacelor vizuale este stimularea mai multor analizatori. Ioan Giurgiu în articolul „Folosirea proiecţiei în predarea fizicii" ne arată că folosirea diapozitivelor este foarte utilă, cînd fenomenele fizice nu pot fi observate în mod direct sau au o durată foarte scurtă, cînd aparatele fizice sînt complicate sau au părţi interioare care nu sînt vizibile", cînd vrem să prezentăm elevilor un utilaj industrial sau un centru industrial. Pentru aceste cazuri se utilizează proiecţiile statice (a diapozitivelor) care conţin : schiţe şi desene pentru explicarea construcţiei şi funcţionării maşinilor, secţiuni în maşini, grafice, diagrame, fotografia utilajelor industriale şi maşinile intrate în muzee industriale.

Deci prezentarea diapozitivelor nu înlocuieşte demonstraţia vie. Ele sînt necesare, deoarece contribuiesc la înţelegerea experienţelor prezentate, la lărgirea orizontului elevilor, cînd obiectivele industriale proiectate nu pot fi vizitate în cadrul unei ore de curs.

În cele spuse mai înainte au fost clarificate : raportul dintre diapozitive şi mijloace clasice ca planşe şi experienţe demonstrative, precum şi cerinţele pedagogice privind conţinutul diapozitivelor olosite în predarea fizicii. Iar acum în cîteva cuvinte încercăm clarificarea cerinţelor psihopedagogice care trebuiesc respectate în folosirea lor. Dintre aceste cerinţe enumerăm următoarele :

— Considerarea diapozitivului ca un element ajutător, ca şi alte materiale intuitive, care nu posedă un caracter independent [3], adică respectarea condiţiilor normale de desfăşurare a lecţiei.

— Proiecţia diapozitivului trebuie considerată ca o parte a demonstraţiei intuitive (experienţă, etc.).

---

2. G. Cristea : Selecţionare, exigenţă, comentariu adecvat, Gazeta Învăţămîntului Nr. 188/5. febr. 1965 : pagina 4.

3. Ioan Giurgiu : Folosirea proiecţiei în predarea fizicii. Revista pedagogică Nr. 2./1964 pagina 97—104.

— Scopul folosirii dispozitivelor şi diafilmelor să fie tocmai uşurarea trecerii de la imaginea concretă la ideea abstractă şi invers", adică de a conduce mintea elevilor către conceptualizare. Diapozitivele servesc ca „modele de tranziţie între perceperea concretului sensibil şi gîndirea abstractă"[4]. Concluziile să fie bazate pe experienţe şi filme prezentate. Diagramele, graficele, secţiuni de maşini şi fenomenele invizibile proiectate pe un ecran uşurează pătrunderea gîndirii elevilor în esenţa fenomenelor. Iar proiectarea imaginilor din fabrici, uzine, etc. trebuie să ducă la lărgirea orizontului de cunoştinţe al elevilor — de la laborator în viaţă.

— Ca un mijloc de intuiţie — metodica prezentării diapozitivelor este aceeaşi cu metodica intuiţiei clasice. Trebuiesc respectate cu perseverenţă etapele cunoaşterii lumii materiale: de la cunoaşterea senzorială la cea raţională, şi de aici la aplicaţii practice.

Utilizarea diapozitivelor dă un randament mai mare dacă ele sînt proiectate la lumina zilei — prin zidiascop — care duce la eliminarea ocaziilor de indisciplină la elevi.

2. Folosirea filmelor în predarea fizicii.

Diafilmele şi filmele sonore livrate şcolilor şi filmotecilor au o tematică foarte largă, cuprind de regulă conţinutul unei teme care se predă într-un ciclu de lecţii sau într-un capitol întreg, de aceea sînt greu utilizabile la lecţiile de comunicare. În aceste cazuri organizarea lecţiilor este condiţionată de filmul proiectat. Comentariile profesorului, experienţele şi alte mijloace intuitive prezentate, precum şi antrenarea gîndirii elevilor este subordonată de conţinutul diafilmului sau filmului sonor prezentat.

Buna organizare a unei lecţii de recapitulare sau sistematizare bazată pe diafilm (film sonor) este asigurată prin respectarea următoarelor condiţii:

— Cunoaşterea anterioară de către profesor a conţinutului filmului, ceea ce implică cel puţin o proiectare prealabilă.

— Stabilirea raportului dintre conţinutul filmului şi al capitolului de recapitulat; care dintre ele va avea o pondere mai mare în stabilirea firului coordonator al sistematizării şi recapitulării capitolului. Conţinutul filmului să fie subordonat unui fel de sistematizare concepută de profesor, sau invers — conţinutul capitolului de sistematizat să fie subordonat filmului, cu ideile deja sistematizate de producătorii filmului. Deoarece capitolul a fost predat după manual sau programa şcolară, este recomandabil ca recapitularea să fie făcută după un alt punct de vedere, adică după filmul folosit, dacă acestea corespund programelor şcolare. Deci în cadrul lecţiilor de recapitulare diafilmul prezentat este foarte util pentru sistematizarea ideilor principale dintr-un capitol şi firul coordonator îl asigură filmul, iar experienţele intercalate au un caracter ajutător.

— Determinarea procedeelor, metodelor didactice şi sarcinilor educative izvorîte din conţinutul lecţiei şi filmului. Clarificarea ideilor principale ale capitolului, care trebuiesc accentuate. Dozarea justă a filmului, deoarece abuzul de imagine este tot atît de dăunător ca şi abuzul de cuvinte[5]. Care dintre fenomenele fizice vor fi prezentate experimental. Care dintre legile fizice vor fi ilustrate prin grafice, diagrame sau

4. Ioan Cerghit: Consideraţii psiho-pedagogice cu privire la metodica folosirii mijloacelor audio-vizuale în procesul de învăţămînt. Revista de pedagogie Nr. 3/1967.

5. Róbert Lefranc: Mijloace audio-vizuale în slujba învăţămîntului pag. 49—50

prin desene pe tablă. Stabilirea în linii mari a comentariilor profesorului privind conținutul filmului. „Dacă filmul este sonor, intervenția profesorului este mai rară și mai discretă"[5].

— „Pregătirea prealabilă a clasei în vederea perceperii filmului, care constă în: clarificarea temei de recapitulat, formularea cîtorva întrebări ale căror răspunsuri ar urma să le caute și să le găsească elevii în timpul perceperii"[6] filmului.

— Asigurarea activității elevilor (principiul însușirii active) și în timpul proiectării filmelor. Profesorul poate să pună pe rînd întrebări privind imaginile, atunci cînd consideră necesar. În unele locuri oprește proiecția filmului. La informația din imagine se mai adaugă o experiență, o diagramă sau un grafic justificator și se trece la prelucrarea acestora. Dacă prelucrarea informațiilor date de film se face la urmă, atunci este necesar ca unele dintre părțile filmului (sau chiar întregul film) să fie proiectate din nou.

În fizică nu prea găsim diafilme care conțin numai o lecție — ca la istorie, geografie, etc. De aceea diafilmul sau filmul sonor, cînd este folosit la predarea noilor cunoștințe, nu se proiectează integral, ci numai acea parte care are legătură cu conținutul lecției. În acest caz considerăm filmul ca un element ajutător ca și alte materiale intuitive. Ca urmare, cerințele pedagogice privind folosirea lor sînt aceleași ca și în cazul diapozitivelor.

Și acum voi prezenta desfășurarea recapitulării capitolului „Mașini simple" (în anul I liceu) pe baza unui diafilm cu același titlu. Sistematizarea ideilor principale și schema pe tablă au fost făcute după filmul prezentat. Legea conservării lucrului mecanic nu a fost racapitulată separat pentru fiecare mașină simplă — cum este în manual — ci numai după terminarea recapitulării întregului capitol, o dată cu randamentul mașinilor simple.

Iată desfășurarea lecției:

a) *Pregătirea elevilor*: — Anunțarea capitolului care va fi recapitulat; — Întrebări la care elevii trebuie să găsească răspunsuri: — De cînd folosește omul mașinile simple? Care este rolul mașinilor simple în construirea mașinilor moderne?

b) *Proiectarea diafilmului* în 3 etape, însoțită de comentariul profesorului sau de conversația pe marginea imaginilor prezentate.

Etapa a I-a: — Proiectarea primei părți a filmului, care se referă la pîrghii și aplicațiile lor. — Un elev verifică (sau întreaga clasă, dacă este posibil) experimental legea pîrghiei, cu un dispozitiv pregătit; — Conversația privind domeniile de aplicare a pîrghiilor.

Etapa a II-a: — Proiectarea părții a II-a a filmului care se referă la scripeți — Verificarea experimentală a condițiilor de echilibru a diferitelor tipuri de scripeți — Enunțarea aplicațiilor văzute pe ecran.

Etapa a III-a: — Proiectarea părții a III-a a filmului care se referă la planul înclinat, șurubul și pana; — Verificarea experimentală a condițiilor de echilibru; — Aplicațiile planului înclinat.

c) *Concluziile privind mașinile simple*:

Rolul mașinilor simple în viața omului; — Ele sînt părțile componente ale mașinilor și automatelor moderne; — Folosirea lor nu duce la

6. Leonida Tănăsescu: Indicații privind colaborarea diafilmelor didactice. Revista de padagogie Nr. 6/1965 pag. 91—95.

economisirea lucrului mecanic, ci numai la micşorarea forţei cheltuite sau la schimbarea spaţiului parcurs.

3. Folosirea televiziunii în predarea fizicii

Televiziunea, mijloc audio-vizual, este utilizată în procesul instructiv-educativ ca izvor de informaţii şi ca factor cu acţiune formativă sporită. Atît emisiunile pentru personalul didactic, cît şi emisiunile pentru elevi axate pe programa şcolară — integrate în orarul şcolii sau în afara orarului — cu scopul de completare individuală a lacunelor, au un rol important în modernizarea predării fizicii. Lecţiile de fizică — în prezent numai pentru clasele a VIII-a şi anul IV liceu, transmise prin televiziunea şcolară (TVS), realizate de cei mai buni profesori, într-un laborator bine dotat, au o funcţie instructivă, formativă şi estetică mai pronunţată ca lecţiile organizate pe plan local.

În scopul folosirii optime a emisiunii TVS mai trebuiesc perfecţionate următoarele condiţii organizatorice, pedagogice şi de conţinut:

a. Sincronizarea emisiunii TVS cu veriga principală de comunicare a tipului de lecţie mixtă cea mai des folosită. Astfel se recomandă următoarele intervale de timp: $11^{30} - 11^{50}$, $12^{30} - 12^{50}$, sau $11^{15} - 11^{35}$, $12^{15} - 12^{35}$, cînd lecţia se începe cu comunicarea noilor cunoştinţe.

b. Adaptarea orarului şcolii şi planurilor calendaristice corespunzătoare programelor emisiunii TVS, care trebuiesc elaborate înaintea începerii anului şcolar şi aduse la cunoştinţa cadrelor didactice.

c. Dotarea şcolilor cu telereceptoare.

d. Informarea cadrelor didactice asupra metodologiei lecţiilor de fizică organizate prin emisiuni TVS.

e. Colaborarea activă şi creativă dintre profesori şi studioul TVS.

f. Alcătuirea tematicii emisiunii TVS în scopul eliminării greutăţilor existente în cadrul lecţiilor la clasă ar trebui să fie transmise mai întîi acele lecţii care necesită un laborator foarte bine dotat; — care au o legătură directă cu rezultatele ultimelor cercetări; — care vizează aplicarea tehnică a lecţiilor de fizică şi care au un rol important în orientarea şcolară şi profesională a elevilor. Sub acest aspect este foarte utilă o lecţie de vizită la o întreprindere industrială care are tangenţă cu conţinutul unui capitol din manualul de fizică.

În condiţiile mai sus amintite structura lecţiei de fizică organizată pe baza emisiunii TVS este următoarea:

— Între $11^{10} - 11^{28}$, verificarea temelor pentru acasă şi a cunoştinţelor anterior predate; — Între $11^{28} - 11^{30}$, pregătirea elevilor pentru vizionarea emisiunii TVS: anunţarea subiectului lecţiei şi obiectivelor principale de urmărit; — Vizionarea emisiunii de la 11^{30} pînă la 11^{50}. — De la 11^{50} pînă la 12 urmează fixarea cunoştinţelor emise de TVS, în paralel cu întocmirea schiţei pe tablă şi cu repetarea unor experienţe posibile în condiţiile concrete şi apoi darea temei pentru acasă.

În acest sens lecţia de fizică organizată pe baza emisiunii TVS nu duce la reducerea rolului profesorului. Nivelul ridicat al lecţiilor emise prin TVS ca model, duce la creşterea responsabilităţii profesorilor în pregătirea şi în organizarea lecţiilor de fizică şi în condiţiile lecţiilor clasice. Pe de altă parte emisiunea TSV ajută pe profesor numai în cazul lecţiilor dificile, mai greoi realizabile pe plan local. Deci în nici un caz nu este vorba despre predarea exclusivă a fizicii pe baza emisiunii TVS.

4. Baza materială necesară pentru folosirea mijloacelor vizuale clasice și moderne.

În acest scop școala trebuie să aibă un număr mai mare de planșe, dispozitive și diafilme în domeniul fizicii. Întrucît păstrarea planșelor pentru fizică este dificilă și ele se uzează repede se recomandă transpunerea lor pe diapozitive, care sînt ușor realizabile cu ajutorul aparatului de fotografiat.

Pe lîngă acestea mai trebuie asigurate condițiile necesare pentru proiecție la lumina zilei, lucru care poate fi realizat într-o cameră obscură pe un ecran de sticlă-mată, sau cu un zidiascop prezentat de Traian Barbu în Gazeta Învățămîntului Nr. 788/5 febr. 1965 și 902/9 iunie 1967.

METODE DE DETERMINARE A VISCOZITĂȚII LICHIDELOR*

Asist. *STANA RUSENESCU*, București

Determinarea vîscozității convenționale a unui lichid cu vîscozimetrul Engler.

Introducere teoretică. Aparatul cel mai răspîndit pentru determinarea vîscozității convenționale este vîscozimetrul Engler.

Vîscozitatea convențională determinată folosind vîscozimetrul Engler se exprimă în grade convenționale Engler (°E).

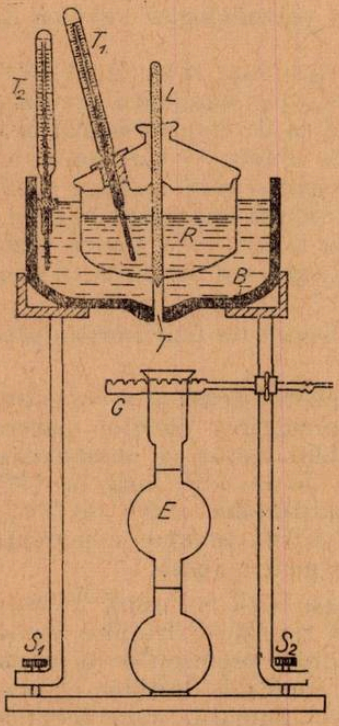


Fig. 3

Vîscozitatea convențională a unui lichid în grade Engler la o anumită temperatură θ, se exprimă prin raportul dintre timpul de scurgere, t, a unui volum anumit din lichidul de studiat, la temperatura θ și timpul de scurgere, t_a, a unui volum egal de apă distilată la 20° C.

$$E_\theta = \frac{t}{t_a}. \qquad (11)$$

Timpul t este o constantă care rezultă din construcția vîscozimetrului.

Vîscozimetrul Engler se întrebuințează pentru determinarea vîscozității convenționale a produselor petroliere, de asemenea la studiul vîscozității uleiurilor animale și vegetale etc. Vîscozimetrul Engler se folosește numai pentru produse care au vîscozitatea, la temperatura determinării, mai mare decît 1,15° E.

Descirerea vîscozimetrului Engler. Vîscozimetrul Engler (Fig. 3) este construit din rezervorul R (în care se toarnă lichidul de cercetat), din baia de încălzire B și din balonul Engler, E, cotat.

T_1 reprezintă termometrul care indică temperatura lichidului de cercetat, iar T_2

*) Urmare din RFC seria A, nr. 8/1971.

termometrul ce indică temperatura apei din baia B. Pentru închiderea și deschiderea tubului calibrat T se folosește tija, din lemn, L.

Fața interioară a peretelui rezervorului R este prevăzută cu trei repere metalice ale căror vîrfuri, așezate în același plan orizontal, folosesc la stabilirea nivelului (necesar și suficient) lichidului de cercetat; de asemenea reperele servesc la verificarea așezării orizontale a vîscozimetrului. Șuruburile S_1 și S_2 se folosesc pentru orizontalizarea vîscozimetrului. Încălzirea băii se face cu un bec pentru gaz, G.

Modul de lucru. Rezervorul R se curăță bine, se usucă și se așază pe trepiedul de sprijin. Se închide tubul de scurgere folosind tija L. Se toarnă lichidul de cercetat pînă la nivelul indicat de vîrfurile celor trei repere. Se verifică orizontalitatea vîscozimetrului.

Se pune apă în baia B pînă ce nivelul ei depășește, cu 1 cm—2cm, nivelul lichidului de cercetat, din rezervorul R. Se încălzește baia pînă la temperatura dorită. Se agită lichidul din rezervor în scopul uniformizării temperaturii; cînd termometrul T_1 indică aceeași temperatură (temperatura dorită) cu termometrul T_2 se întrerupe încălzirea.

Se potrivește balonul Engler sub orificiul de scurgere, se deschide tubul de scurgere ridicînd tija L și simultan se pornește cronometrul. Se lasă să se scurgă lichidul din rezervor în balon pînă ce meniscul lui devine tangent la reperul care indică 200 cm^3, în acel moment se oprește cronometrul și se citește timpul (în secunde) necesar scurgerii a 200 cm^3 din lichidul de cercetat.

Balonul Engler se așază astfel ca lichidul scurs din rezervor să se prelingă pe partea interioară a lui, în scopul împiedicării apariției spumei care introduce erori la citire.

Se măsoară timpul necesar pentru scurgerea a 200 cm^3 de lichid de cercetat (ulei comestibil de floarea soarelui), din rezervorul vîscozimetrului Engler, avînd temperaturile: 90° C, 80° C, 70° C, 60° C, 50° C, 40° C și 30° C.

Pentru fiecare temperatură se fac minimum trei determinări apoi se calculează media aritmetică a valorilor obținute.

Majoritatea vîscozimetrelor Engler, folosite în laboratoarele didactice, au timpul de scurgere pentru 200 cm^3 de apă distilată, la 20° C, cuprins între 51 s și 52 s.

Din relația (11) se obține vîscozitatea convențională în grade Engler.

Cu valorile obținute se reprezintă grafic variația vîscozității convenționale a uleiului, exprimată în grade Engler, în funcție de temperatură și se trag concluziile ce rezultă din alura curbei obținute.

PROIECȚIA STROBOSCOPICĂ

Prof. *LEONTINA PETRESCU*, Turnu Măgurele

Stroboscopia este o metodă de cercetare a unei mișcări periodice. Această metodă constă în încetinirea aparentă a mișcării de studiat fie prin iluminarea intermitentă — la intervale de timp egale a corpului în mișcare periodică, aflat în întuneric, fie prin observarea intermitentă a corpului care este iluminat permanent.

Atît iluminarea cît și observarea se pot face cu ajutorul unui disc numit disc stroboscopic (fig. 1) care are p deschideri echidistante și care se rotește uniform de n ori pe secundă.

Dacă prin deschiderea discului trece un fascicul de lumină se obține frecvența de iluminare ν' dată de relația:

$$\nu' = np.$$

Dacă frecvența de iluminare ν' este egală cu frecvența mișcării examinate ν, se observă aceeași fază a mișcării periodice, încît corpul pare imobil.

Dacă frecvența de iluminare este mai mică decît frecvența mișcării examinate se observă diferitele faze ale mișcării periodice care se succed cu o frecvență ν_a mult mai mică decît frecvența reală ν.

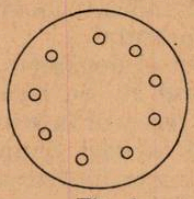


Fig. 1

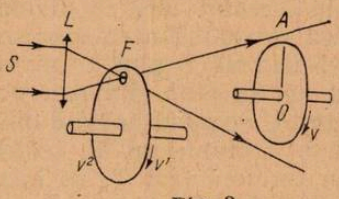


Fig. 2

Prin urmare stroboscopul dă fazele mișcării periodice care se succed la intervale egale, cu perioada T' de iluminare și aceste instantanee suprapunîndu-se pe retină (care reține imaginea un timp de 0,1 s), observăm o mișcare periodică de frecvență mai mică, sau un repaus aparent.

Stroboscopia permite deci înlocuirea observării unui fenomen periodic de frecvență mare prin observarea unui fenomen aparent identic cu cel dintîi, însă cu o frecvență destul de mică pentru a putea fi urmărit cu ochiul.

Pentru a calcula frecvența aparentă să considerăm, de exemplu un disc O în întuneric, care se rotește în sens orar cu frecvența ν și care este iluminat intermitent cu o frecvență de iluminat ν', mai mică decît ν (fig. 2).

Pe discul O este desenată raza OA. Dacă la prima iluminare raza este în poziția verticală OA_1, la a doua iluminare ea este observată în poziția OA_2 care face cu poziția OA_1 unghiul α, deși în realitate ea a descris unghiul $\alpha + 2\pi$ (fig. 3).

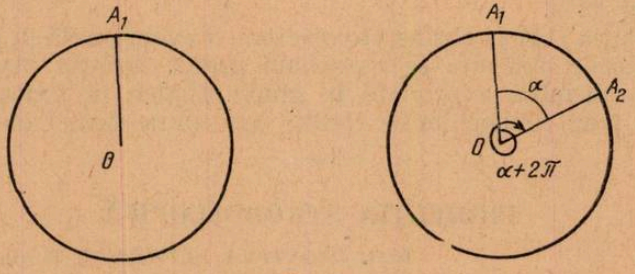


Fig. 3

Notăm diferența $\nu - \nu' = f$ (1).

Deoarece discul face ν rotații reale pe secundă, în intervalul T' el va face un număr N de rotații care se poate determina cu ajutorul relației:

$$N = \nu T'. \tag{2}$$

Dar:

$$T' = \frac{1}{\nu'}. \tag{3}$$

Deci:

$$N = \nu \frac{1}{\nu'}. \tag{4}$$

Din relația 1 se poate exprima frecvența ν':

$$\nu' = \nu - f. \tag{5}$$

Înlocuind valoarea lui ν' în N din relația 4, obținem:

$$N = \frac{\nu}{\nu - f} = \frac{\nu - f + f}{\nu - f} = 1 + \frac{f}{\nu - f}. \tag{6}$$

Din aceste relații se poate observa că fracția $\frac{f}{\nu - f}$ reprezintă numărul de rotații aparente, pe care îl notăm cu N'.

Deci:

$$\nu_a = \frac{N'}{T'} = N'\nu' = \frac{f}{\nu - f} \cdot \nu' = \frac{f}{\nu - f}(\nu - f) = f \tag{7}$$

sau

$$\nu_a = \nu - \nu'. \tag{8}$$

Așadar frecvența mișcării aparente ν_a este egală cu diferența dintre frecvența mișcării reale ν și frecvența de iluminare ν'.

De aci rezultă următoarele concluzii:

1. Cînd ν' este puțin mai mică decît ν (intervalul dintre două iluminări consecutive, T', este puțin mai mare decît perioada de rotație T) discul pare a se roti încet în sensul real al mișcării.

2. Cînd $\nu' > \nu$ discul pare a se roti încet în sens invers mișcării reale, $\nu_a < 0$.

3. Cînd $\nu' = \nu$; $\nu_a = 0$ în acest caz T este egal cu T' adică iluminarea găsește raza OA în faza de mișcare în care se afla în timpul iluminării precedente. Discul pare imobil (repaus stroboscopic).

Această metodă are numeroase și variate aplicații tehnice:

a) Determinarea frecvenței de rotație sau de vibrație a unei piese de mașină se face prin reglarea frecvenței de iluminare ν' a stroboscopului pînă se realizează repausul stroboscopic al piesei observate. În acest caz $\nu = \nu'$;

b) Cercetarea comportării în mers a unor mașini ca: elicea avioanelor, mașinile unelte, axele bobinelor de la filaturi etc. Organele respective sînt fotografiate static, apoi în repaus stroboscopic. Prin compararea celor două fotografii se constată deformările ce se produc în timpul funcționării, datorită solicitărilor la care este supus organul de mașină.

c) Reglarea platanelor de pick-up și a vitezei aparatului de proiecție se poate realiza tot cu ajutorul metodei stroboscopice (vezi ABC-ul cineastului amator nr. 13).

Pentru aplicațiile enumerate mai sus se folosește un dispozitiv stroboscopic format dintr-un tub luminescent cu frecvență de iluminare reglabilă.

Considerații metodice

Metoda stroboscopică se poate trata în cursul elementar după studiul aparatelor optice. Se discută cu elevii fenomenul observat cînd

privim prin crăpăturile unui gard sau la cinematograf, roţile unui automobil care se deplasează rapid. Deşi automobilul se deplasează rapid, roţile abia se rotesc sau nu se rotesc deloc. Mai mult chiar, uneori ele se rotesc în sens invers. Urmărind rotirea roţilor prin crăpăturile gardului nu vedem aceste roţi continuu ci la intervale de timp egale, pentru că scîndurile le acoperă succesiv. Tot astfel şi pelicula cinematografică imprimă imaginea roţilor în anumite momente cu întreruperi (24 de cadre pe secundă). Se analizează cu elevii cele trei cazuri posibile şi se poate construi şi un dispozitiv stroboscopic. Cu dispozitivul construit se pot pune în evidenţă cele descrise mai sus, dacă facem să se rotească în faţa discului stroboscopic un alt disc pe care am desenat trei şiruri concentrice de puncte negre echidistante (fig. 4).

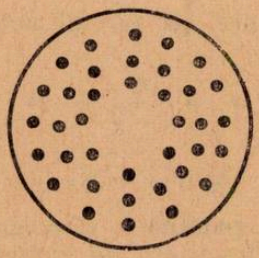


Fig. 4

Teoria fenomenului se poate preda la anul I secţia reală după studiul mişcării de rotaţie, sau se poate studia în cadrul unui cerc cu elevii.

Dispozitivul stroboscopic este de un real folos la studiul mişcărilor oscilatorii.

Se pot pune în evidenţă oscilaţiile punctelor de pe o coardă în lungul căreia se formează unde staţionare.

În acest scop se foloseşte dispozitivul IMD pentru producerea undelor staţionare (fig. 5), sau se produc unde staţionare cu ajutorul unui tub de cauciuc. Se analizează aspectul undei staţionare în lumina naturală şi după aceea se iluminează coarda cu discul stroboscopic.

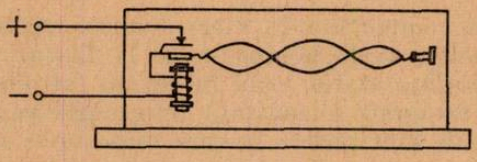


Fig. 5

Elevii vor putea constata că între două noduri succesive toate punctele oscilează în fază cu amplitudini diferite, iar de o parte şi de alta a unui nod punctele sînt în opoziţie de fază (fig. 6).

Oscilaţiile unui diapazon întreţinut electric se pot pune în evidenţă proiectînd cu ajutorul unei lentile pe un ecran diapazonul iluminat cu discul stroboscopic (fig. 7).

Reglînd turaţia discului se poate obţine repausul stroboscopic şi determinarea frecvenţei diapazonului. La cercurile cu elevii anilor I se

poate analiza curgerea unui lichid în picături. Pentru acest scop se obțin cu ajutorul unui biurete picături foarte mici de apă colorată și cu aju-

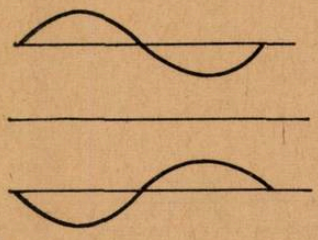


Fig. 6

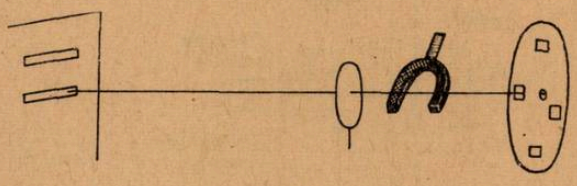


Fig. 7

torul unei lentile, imaginea lor pe un ecran (fig. 8).

Se iluminează picăturile cu ajutorul discului stroboscopic și se observă pentru diferite frecvențe ale dispozitivului, fie o imagine nemișcată a picăturilor, fie o curgere lentă sau urcarea lor cu o viteză foarte mică.

Din această experiență se poate determina frecvența de curgere a picăturilor cunoscînd frecvența întreruperii luminii. Mărind foarte mult frecvența discului putem să urmărim mișcarea unei singure picături și să punem în evidență spațiile parcurse de ea în timpuri egale.

Cu această metodă se pot studia și alte fenomene periodice, care au frecvență prea mare pentru a fi percepute direct de ochi.

Descrierea dispozitivului stroboscopic

Dispozitivul stroboscopic utilizat este format dintr-un disc de pertinax cu diametrul de 14 cm în care sînt practicate 4 fante dreptunghiulare cu dimensiunile de 17 × 5 mm, dispuse pe două diametre perpendiculare, încadrate între două cercuri concentrice de raze $R_1 = 6$ cm și $R_2 = 3$ cm (fig. 9).

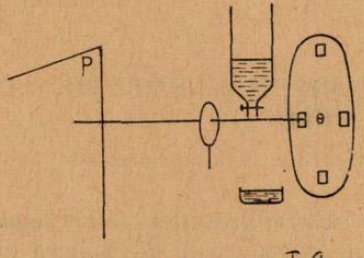


Fig. 8

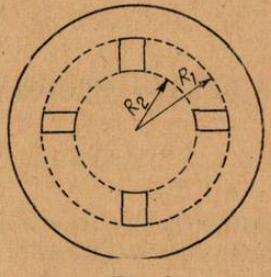


Fig. 9

Discul este fixat pe o flanșă de aluminiu cu trei nituri. Flanșa se fixează pe axul motorului electric printr-un șurub de presiune (fig. 10).

Motorul electric de curent continuu (cu carcasa de material plastic) se alimentează de la o baterie de 4,5 V și are 4 500 ture/minut (motorul este folosit la navomodelism). În circuitul de alimentare al motorului se conectează un reostat cu cursor rotativ, de 100 Ω (fig. 11). Cu ajutorul reostatului se variază intensitatea curentului de alimentare și se obțin turații diferite pentru discul stroboscopic.

Se trimite un fascicul luminos de raze paralele perpendicular pe planul discului, care să pătrundă cît mai centrat pe fanta discului cu ajutorul unui colimator sau diascol.

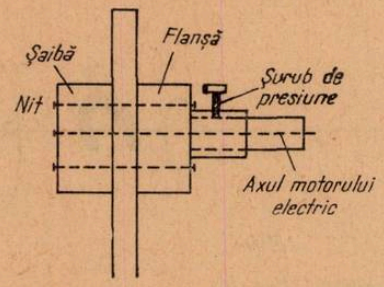


Fig. 10

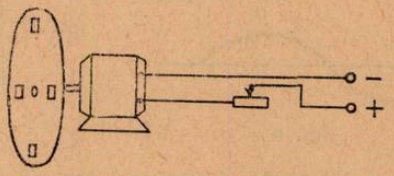


Fig. 11

Pentru fixarea motorului şi a colimatorului se pot folosi staţiile prevăzute cu cleme sau un suport special din lemn (fig. 12).

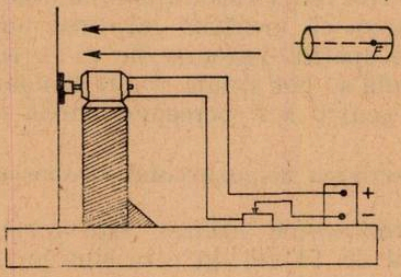


Fig. 12

TRUSA PENTRU STUDIUL MIŞCĂRII DE ROTAŢIE A CORPULUI SOLID

Fizician *OCTAVIAN IACOB*, Bucureşti

Destinată liceelor, trusa ajută în predarea noţiunilor legate de mişcarea de rotaţie a corpului solid şi de asemenea în efectuarea unor lucrări de laborator.

Folosind componentele trusei în diferite montaje se realizează următoarele experienţe :

Experienţa 1. Mişcarea de rotaţie cu viteză unghiulară constantă. Determinarea vitezei unghiulare (Fig. 1).

Piesele necesare : 1. Trepied cu tijă suport ; 2. Mufă pentru antrenare ; 3. Greutăţi cu şurub ; 4. Tijă divizată ; 5. Scripete cu suport ; 6. Tijă pentru scripete ; 7. Taler ; Sfoară ; Mase mici (alice, nisip etc.) ; Riglă gradată.

Scoatem din trusă piesele necesare, începînd cu trepiedul cu tijă suport, care este folosit la toate experienţele. În lagărul tijei suport

o bilă de rulment micşorează frecarea. Îl aşezăm pe masa de lucru, în plan orizontal, reglajul făcîndu-se de la şuruburile (1). Efectuăm montajul din figura 1. Mufa (2) pentru antrenare are pentru fixarea sforii un orificiu cu două diametre. Facem la sfoară un nod, capătul liber se introduce în orificiul mare şi se trage pe partea cealaltă. Nodul se opreşte în interiorul mufei în pragul format de diametrul mic.

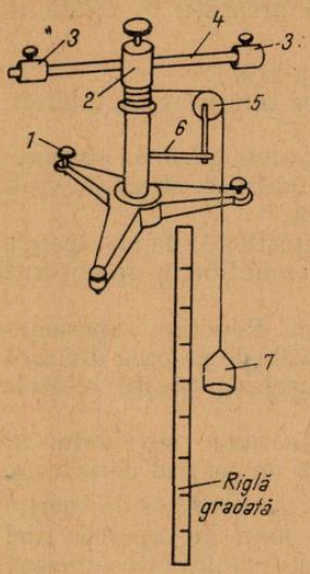


Fig. 1

Aşezăm pe taler mase mici pînă cînd momentul creat de greutatea talerului încărcat echilibrează momentul forţelor de frecare. În această situaţie, dacă imprimăm un impuls sistemului (împingem uşor una din greutăţi) acesta se va roti cu viteză unghiulară constantă.

Măsurăm cu un cronometru timpul t de cădere al talerului, înălţimea h şi calculăm: $\alpha = 2\pi n$, $n = \frac{h}{2\pi r}$ şi rezultă pentru α:

$$\alpha = 2\pi \frac{h}{2\pi r} = \frac{h}{r};$$

unde: α — spaţiul străbătut în mişcarea de rotaţie, n — numărul de rotaţii, h — spaţiul parcurs de taler, r — raza tamburului ($r = 14$ mm).

Dar $\alpha = \omega t$, $t = \frac{h}{r}$, de unde: $\omega = \frac{h}{tr}$.

Experienţa 2. Mişcarea de rotaţie accelerată. Determinarea acceleraţiei unghiulare.

Folosind montajul din figura 1, adăugăm pe taler o greutate $G = mg$, cu masa de cîteva grame. Pe rigla gradată marcăm un reper superior şi altul inferior, determinînd o distanţă h. Rotim bara cu greutăţile, pînă ce talerul ajunge în dreptul reperului superior. Lăsăm sistemul liber şi marcăm timpul de parcurgere în mişcarea accelerată, a distanţei h.

Din ecuaţiile mişcării uniform accelerate:

$$\omega = \varepsilon t \text{ şi } \alpha = \frac{\varepsilon}{2} t^2 \text{ unde } \alpha = \frac{h}{r}.$$

Rezultă: $\varepsilon = \frac{2h}{rt^2}$.

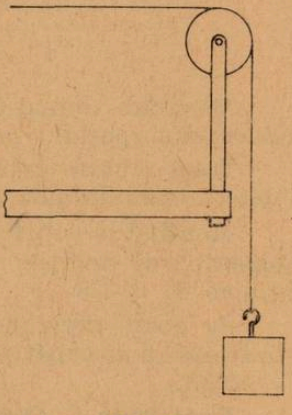


Fig. 2

Experienţa 3. Punerea în evidenţă a energiei cinetice de rotaţie.

Din montajul din figura 1 se scoate talerul şi se atîrnă de fir una din greutăţi (fig. 2).

Se înfăşoară firul pe tambur pînă cînd greutatea este adusă la partea superioară a riglei (aproape de scripete). Lăsînd liber sistemul de rotaţie aceasta va efectua o mişcare de rotaţie uniform accelerată. După desfăşurarea completă a firului (greutatea nu

va atinge solul), mişcarea de rotaţie continuă, sistemul efectuează un lucru mecanic pentru ridicarea greutăţii.

Rezultă că în timpul mişcării sistemul a acumulat energie cinetică obţinută prin transformarea energiei potenţiale a greutăţii G, aflată în poziţia superioară.

Experienţa 4. Momentul de inerţie, variaţia cu m şi r.

Folosim tot montajul din figura 1. Firul este înfăşurat pe tambur, iar talerul gol se află la partea superioară.

Încărcăm talerul cu mase marcate (cîteva grame) pînă ce sistemul se pune în mişcare sub acţiunea greutăţii talerului încărcat. Mişcarea va fi în acest caz uniform accelerată, cu acceleraţia mică.

Se observă această mişcare. Mutăm apoi greutăţile (3) de la capetele tijei lîngă mufa de antrenare (2). Se lasă iarăşi sistemul liber şi se observă că mişcarea se efectuează cu acceleraţie mai mare.

Deci, aceeaşi forţă, aceeaşi masă, dar alt efect. Repetăm experienţa lăsînd aceleaşi greutăşi pe taler, dar înlocuim greutăţile de pe bara divizată cu celelalte două mai mici. Observăm că pentru aceleaşi poziţii efectele aceleiaşi forţe sînt altele.

Rezultă că momentul de inerţie depinde de masa sistemului în mişcare de rotaţie precum şi de distanţa masei faţă de centrul de rotaţie.

Experienţa 5. Determinarea experimentală a momentului de inerţie

În montajul din figura 1 fixăm greutăţile mari la capetele tijei divizate. În această poziţie momentul de inerţie al sistemului este suficient de mare pentru ca momentul de inerţie al barei să poată fi neglijat. Se realizează apoi o mişcare de rotaţie cu ω constant. După aceasta se adaugă pe taler o greutate mg, care va imprima sistemului o acceleraţie unghiulară.

Momentul de rotaţie este : $M = \varepsilon I$, unde ε — acceleraţia unghiulară, iar I — momentul de inerţie.

De aici $I = \frac{M}{\varepsilon} = \frac{mgr}{\varepsilon}$, r fiind raza tamburului.

Dar $\varepsilon = \frac{2h}{rt^2}$, şi înlocuind în expresia lui I se obţine :

$$I = \frac{mgr}{\varepsilon} = \frac{mgr}{\frac{2h}{rt^2}} = \frac{mgr^2t^2}{2h}.$$

Măsurăm timpul de cădere, masa m care produce mişcarea uniform accelerată şi spaţiul h pe care se deplasează talerul.

Dacă mutăm greutăţile la jumătatea distanţei spre axa de rotaţie şi determinăm din nou momentul de inerţie obţinem $I_1 = I/4$.

Montînd la capetele bornei greutăţile mici $M_1 = M/2$ şi determinăm momentul de inerţie obţinem : $I_2 = I/2$. Deplasînd greutăţile la $R/2$ obţinem $I_3 = I/8$.

Se poate determina şi momentul de inerţie al barei cînd aceasta este fixată cu un capăt pe axa de rotaţie. Cu o bună aproximaţie se verifică $I = ml^2/3$.

Experienţa 6. Conservarea momentului cinetic.

Introducem dispozitivul în tija suport (fig. 3), ţinem cu o mînă butonul B, iar cu cealaltă punem dispozitivul în mişcare de rotaţie.

Observăm viteza de rotaţie. După cîteva rotaţii apăsăm pe buton şi observăm viteza de rotaţie. Lăsăm uşor butonul B să se ridice şi iarăşi îl apăsăm observînd cum viteza de rotaţie scade şi iar creşte, ceea ce duce la concluzia :

$$I_1 \omega_1 = I_2 \omega_2 = \text{constant.}$$

Experienţa 7. Efectul giroscopic.

Realizăm suspensia cardanică introducînd giroscopul în tija suport şi scoţînd cele două cleme de blocaj (fig. 4).

Introducem sfoara în orificiul axului, se înfăşoară pe ax, apoi se trage de capătul sforii cît mai tare. (în acest timp trepiedul cu tija suport este ţinut pentru a nu se răsturna).

Se imprimă astfel o mişcare rapidă de rotaţie. Lovind giroscopul în timpul mişcării, vedem cum acesta îşi păstrează axa de rotaţie.

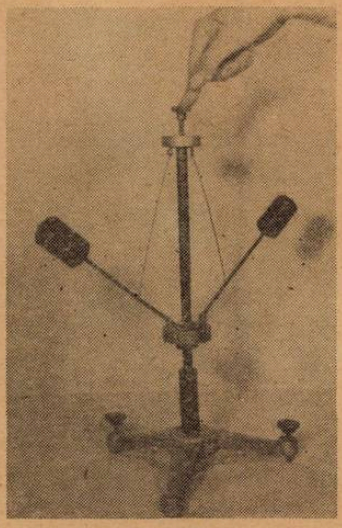


Fig. 3

Experienţa 8. Precesia giroscopului.

1. *Balanţa giroscopică*

Piesele necesare : 1. Trepied de tijă suport ; 2. Giroscop cardanic ; 3. Mufă furcă ; 4. Mufă de legătură ; 5. Tijă divizată ; 6. Greutăţi cu şurub ; 7. Cleme pentru blocarea giroscopului.

Realizăm montajul din figura 5. Echilibrarea giroscopului se face deplasînd greutăţile pe tija divizată. De acestea fixăm un cîrlig cu filet.

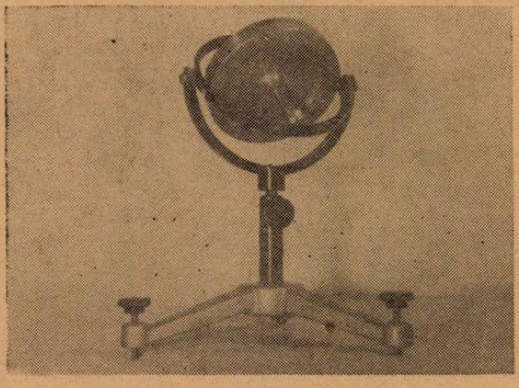


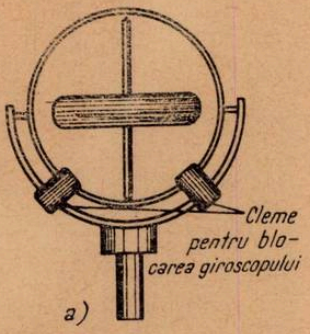
Fig. 4

Atîrnăm 5—10 g de unul din cîrlige şi observăm cum balanţa se înclină în partea greutăţilor. Se scoate greutatea adiţională şi balanţa revine la echilibru. Imprimăm giroscopului o mişcare de rotaţie cît mai rapidă, după care atîrnăm iarăşi greutatea adiţională. Observăm că balanţa nu se mai înclină, ci pîrghia ei descrie un cerc în planul orizontal — precesia. Dacă se învîrte giroscopul în sens contrar şi mişcarea balanţei se va face pe cerc, în sens invers.

2. *Sfîrleaza.*

Piesele necesare : 1. Trepied cu tijă suport ; 2. Sfîrlează ; 3. Piesă suport pentru sfîrlează.

Introducem una din piesele suport în tija montată pe trepied, cealaltă



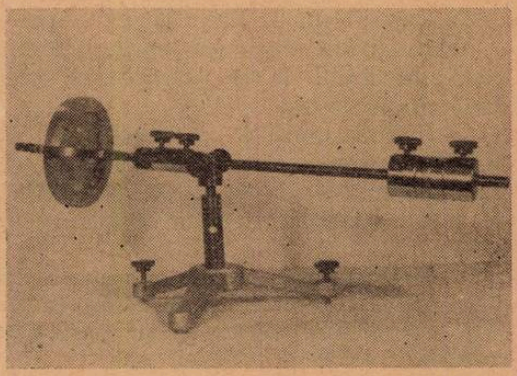


Fig. 5

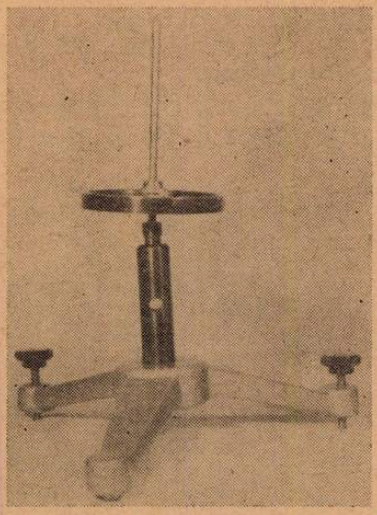


Fig. 6

se ţine în mînă fixînd între ele sfîrleaza (fig. 6).

Imprimăm o mişcare de rotaţie rapidă sfîrlezei, se ridică piesa ţinută cu mîna şi se loveşte axul sfîrlezei pînă ce capătă o înclinaţie pronunţată. Observăm mişcarea de precesie.

SUMARUL ANULUI VIII — 1971

	Nr. rev.	Nr. pag.
Aczel Otto, prof. univ. Timişoara : Legile şi relaţiile fizicii în lumina conexiunii cauzale dintre fenomene	5	189
Apostol D., vezi *Vasiliu V.*		
Axinte C, vezi *Comaniciu N.*		
Badea Ion, Bucureşti, vezi *Păunel Maria*		
Bârlogeanu M., I.F.A. Buc. vezi *Berenyi C.*		
Bendescu Gh., Singurel Gh. Iaşi : Dispozitiv pentru studiul polarizării luminii prin reflexie şi transmisie	8	309
Berenyi C., Bârlogeanu M. I.F.A. Buc.: Laseri ionici	9	347
Blănariu Dragoş, asist. Iaşi : Radiaţia cosmică solară	8	302
Catrinescu M., Univ. Buc., vezi *Levai Şt.*		
Cămărăscu Ctin., stud. Braşov, vezi *Sima P. D.*		
Ceacâr Ctin, prof. Buc., *Popa I.* prof. Buc : Circuite integrate	12	453
Chelu Iunian, cercet. princ. Inst. Cercet. Ped. Buc. : Concursul de fizică verifică formaţia participanţilor	12	461
Chetroiu A., I.F.A. Buc. vezi *Vasiliu V.*		
Cioroianu Lelian, stud. Inst. Polit. Buc., vezi *Enescu Ştefania*		
Comaniciu N., Drăgănescu V., Axinte C., I.F.A. Bucureşti : Laserul cu CO_2 şi aplicaţiile sale	9	338
Constantin Emilia, Univ. Cluj : Câteva probleme privind teoria spectrelor de masă	6	215
Constantinescu I.G., Constantinescu Irina, Mărculeţiu V. T., Teodorescu Gr., Inst. Polit. Buc. : Utilizarea HCl rezidual pentru valorificarea titanului din nisipurile ilmenitice	1	32
vezi *Pincovschi E*		
Constantinescu Lucia, Constantinescu Ovidiu, Buc. : O metodă de măsurare a rezistivităţii unui semiconductor fără a folosi în circuitul de compensare un element normal	5	195
Conţescu Cristian, stud. Buc. : Chemosorbţia	10	361
Corbu Şt. vezi *Gherbanovschi N.*		
Creţu Steliana, asist. Buc. : Terpolimerii	8	281
Dabu D., Fenic C., Nemeş G., I.F.A. Buc. : Laseri cu corp solid şi aplicaţii	10	388
Deutsch I., Morariu N., Gonciar M., Braşov : Aparat didactic pentru studiul vibraţiilor de răsucire	7	259
Drăgănescu V. dr. I.F.A. Buc. : Radiaţia laser şi proprietăţile sale	9	321
vezi *Comaniciu N.*		
Dumitru Spiridon asist., *Dumitru M.* Braşov : Teoria fenomenologică a reacţiilor sistemelor macroscopice la excitaţii exterioare	8	288
Enescu Ştefania, stud. Inst. Polit. Buc., *Cioroianu Lelian*, stud. I.P.B. : Studiul comparativ al metodelor de separare a cationilor	11	406
Erdei Ştefan, prof. Săcuieni : Folosirea mijloacelor vizuale clasice şi moderne în predarea fizicii	12	463
Fenic C., I.F.A. Buc. : vezi *Dabu R.*		
Gavrilă I, lector Braşov, vezi *Munteanu G.*		
Gherbanovschi N., Corbu Şt., Buc. : Conductivitatea aerului slab ionizat imers în cîmp magnetic	4	130
Glatz Friederich, stud. Buc. : vezi *Radu Paul*		
Goldemberg Adina, Iaşi : Caracterizarea stării unui sistem cu un număr mare de particule de către spinul particulelor din acel sistem	10	384
Gonciar M., Braşov vezi *Deutsch I.*		
Grimberg R. cercet, Iaşi : Rezonanţa feromagnetică	6	223
Naum C., Rezonanţa feromagnetică de joasă frecvenţă	7	241
Hermann Volker, prof. Sibiu : Nomenclatura în chimia organică predată în anii III şi IV ai liceului de cultură generală	6	201
Hirsch Peter, prof. Arad. : Studiul calitativ asupra luminozităţii şi apodizării unui sistem optic în cazul iluminării coerente şi parţial coerente	11	414
Iacob Oct., Buc. : Trusa mecanica lichidelor	5	198
Trusa pentru studiul mişcării de rotaţie a corpului so lid	**12**	**474**

Ionașcu N., Brașov : Modificarea unor proprietăți microscopice a lichidelor prin acțiunea cîmpului ultrasonor 1 40
Ionescu Pallas N. cercet. princ. I.F.A. Buc. : Bazele electrodinamicii macroscopice 3 95
Iltu Marcela, I.F.A. Buc. : Aplicațiile laserilor în chimie 9 355
Jitaru M., Iași : Studiul oscilatorilor cu diode tunel și linii de întîrziere . . . 10 372
Levai Șt., Levai Steliana, Catrinescu M. Univ. Buc. : Forma liniei de absorbție RMN 2 62
Lupu Dtru., Constanța : Tehnica separării Co de Ni 4 127
Mager Sorin, conf. dr. Cluj : Probleme de configurație și conformație în clasa glucidelor 7 245
Manda Dtru, prof. Giurgiu : Legi statice și legi dinamice 4 138
Marin Niculaie, stud. Buc. : Efectul Doppler 11 419
Marinescu Matei, prof. dr. doc. Buc. : O sută de ani de la nașterea fizicianului român N. Vasilescu Karpen 2 51
Mathe Al. Iosif, prof. Șimleul Silvaniei : Energia calorică sub aspectul energiei cinetice a particulelor și sub aspectul radiației electromagnetice 5 182
Cîmpuri de forță 11 431
Mărculețiu V. T. Inst. Polit. Buc., vezi *Constantinescu I. G.*
Mezinu Mihai, prof. Clung Mold : Observații asupra predării particulelor elenentare la anul IV liceu 11 438
Morariu N. Brașov. vezi *Olariu Virgil*; vezi *Deutsch I.*
Munteanu G., Gavrilă I., lector Brașov : Importanța orientării tematicii cercurilor științifice studențești de fizică 4 154
Naum C., Iași : vezi *Grimberg R.*
Nemeș G., I.F.A. Buc. vezi *Dabu R.*
Niac Gavril, Univ. Cluj : Cum arată orbitala 1 s și cît este de mare atomul de hidrogen 5 166
Nicula I., conf. dr. Cluj : Centri de culoare paramagnetici 2 54
Novicicov Eugen, Buc. : Elemente de tehnologie a programării (VII) 1 14
Olariu Virgil, Morariu Nicolae, Brașov : Aparat pentru determinarea efectului forței Coriolis 1 11
Oniciu Liviu, conf. dr. Cluj : Despre cinetica electrochimică 4 121
Panaiotu Lidia, lector I.C.P.P.D., vezi *Stănescu N* . . . . . .
Păunel Maria, Badea Ion, Buc. : Aminoacizii 1 21
Petre I. Univ. Buc. : Utilizarea ecuațiilor cu diferențe finite în cadrul metodei Hückel 6 228
Petrescu Leontina, prof. Tr. Măgurele : Proiecția stroboscopică 12 469
Petrescu Stoian, dr. ing. Inst. Polit. București : Deducerea elementară a formulelor de transformare Lorentz-Einstein 11 424
Pincovschi E. Constantinescu I., Inst. Polit. Buc. : Depoluarea simultană a apei și atmosferei prin metode combinate 11 401
Popa I., prof. Buc., vezi *Ceacâr Ctin.*
Radu Paul, stud. Inst. Polit. Buc., *Friederich Glatz*, stud. I.P.B. : Combinații complexe — catalizatori de hidrogenare 12 441
Rezlescu N., Iași : Feritele (II) 2 71
Rothbächer E, Rothbächer H., Brașov : Spectrofotometria de absorbție în u.v. și vizibil ca metodă de cercetare științifică 5 172
Rusenescu Stana, asist. Buc. : Metode pentru determinarea viscozității lichidelor 8 313
12 468
Rusescu C. conf. Galați : Aparat pentru determinarea modulului de elasticitate la întindere 2 68
Rusu Viorica, asist. Inst. Polit. Buc. : Metode analitice de analiză a urmelor de elemente 3 81
Săveanu Lucius, prof. dr. doc. Constanța : Metodă ciclică penteu stabilirea expresiei variației energiei interne la un gaz perfect 1 19
Sima P. D. conf. Brașov. *Cămărăscu Ctin.*, Brașov : Aparat pentru studiul autooscilațiilor 4 133
Singurel Gh., lector Iași, vezi *Bendescu Gh.*
Stănescu N., cercet, princ. Inst științe ped. Buc. : Pentru actualizarea învățămîntului fizicii 4 149
Panaiotu Lidia, lector I.C.P.P.D., *Teodoru Adriana*, prof. Buc.. . . . 4 160
Stegaru Marin, prof. Slatina : Considerații asupra predării fizicii semiconductorilor în liceele de cultură generală și de specialitate 7 263

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

Szöcs Huba lector, *Szöcs Gheza* prof. Tg. Secuiesc : Folosirea osciloscopului catodic la lucrările de laborator 3 118
Szöcs Piroska, Tg. Secuiesc : Utilizarea emailului ca material anticorosiv . . 12 448
Teodorescu Gr.. M., vezi *Constantinescu I. G.*
Teodoru Elena, prof. Buc. : Probleme psihologice ale gîndirii specifice obiectului fizică 7 275
vezi *N. Stănescu*
Toma Dorina, asist. Galați : Asupra metodelor de măsură în radiofrecvență a factorului de pierderi al condensatoarelor 8 295
Uliu Florea, asist. Craiova : Modelul statistic al atomului 5 161
Efectul Joule Thomson 10 378
Vasiliu V., Chetroiu A., Apostol D., I.F.A. Buc. : Laserul cu He—Ne și aplicațiile sale 9 330
Zdrafcu Olimpia, asist. Buc. : Combinațiile chelate ale galiului, indiului și taliului cu reactivi organici 6 206
Zeletin Druică Ion, asist. Buc. : Asupra modificării frecvenței fotonilor la deplasarea în cîmpuri gravitaționale 6 237
Zoran Maria, Buc : Studiul asupra poluării atmosferii 3 106
Programa de chimie pentru anii I—IV ai liceului de cultură generală 1 1
Programa de fizică pentru anii I—IV ai liceului " " 2 41
Programa de fizică pentru anii I—IV secția Umanistă a Liceelor de cultură generală 3 111

REVISTA DE FIZICĂ ȘI CHIMIE SERIA A

urează colaboratorilor și cititorilor ei succes în activitatea științifică și

LA MULȚI ANI !

CĂTRE COLABORATORII ȘI CITITORII NOȘTRI.

Începînd cu nr. 1/1972, **Revista de Fizică și Chimie seria A** *va publica în afară de articole de informare științifică, articole cu caracter metodic, note asupra unor lucrări de laborator și asupra aparaturii de laborator, biografii ale marilor oameni de știință, noutăți științifice, materiale comunicate la consfătuirile și simpozioanele organizate de S.S.F.C., știri din viața Societății — următoarele tipuri de materiale :*

— articole — consultații pentru examenele de definitivat și de grad (care vor constitui o bibliografie utilă în pregătirea profesorilor pentru aceste examene).

— articole cuprinzînd teme pentru clasele speciale de fizică și chimie,

— o selecție din prelegerile ținute la cursurile de vară pentru profesori, organizate de Ministerul Învățămîntului în colaborare cu S.S.F.C., precum și din cursurile de specialitate ținute în cadrul Universității Populare București,

— materiale asupra desfășurării și rezultatelor concursurilor de fizică și chimie,

— recenzii asupra cărților nou apărute.

Avînd în vedere utilitatea R.F.C.A. în ridicarea calificării Dvs., procurați-vă R.F.C.A, abonîndu-vă din timp pe anul 1972. Costul unui abonament pe un an 36 lei.

În primele numere pe anul 1972 va apărea o tematică a R.F.C.A.

Pe adresa redacției primim sugestii și observații pe seama tematicii precum și articole și alte materiale care se încadrează în tematica stabilită — articolele trebuie să fie bătute la mașină în două exemplare, la două rînduri

Institutele de perfecționare a cadrelor didactice vor lua în considerare activitatea profesorilor în cadrul S.S.F.C. prin publicarea de articole și probleme în R.F.C.

I. P. Informația — c. 2962

Index 43459

Lei 3